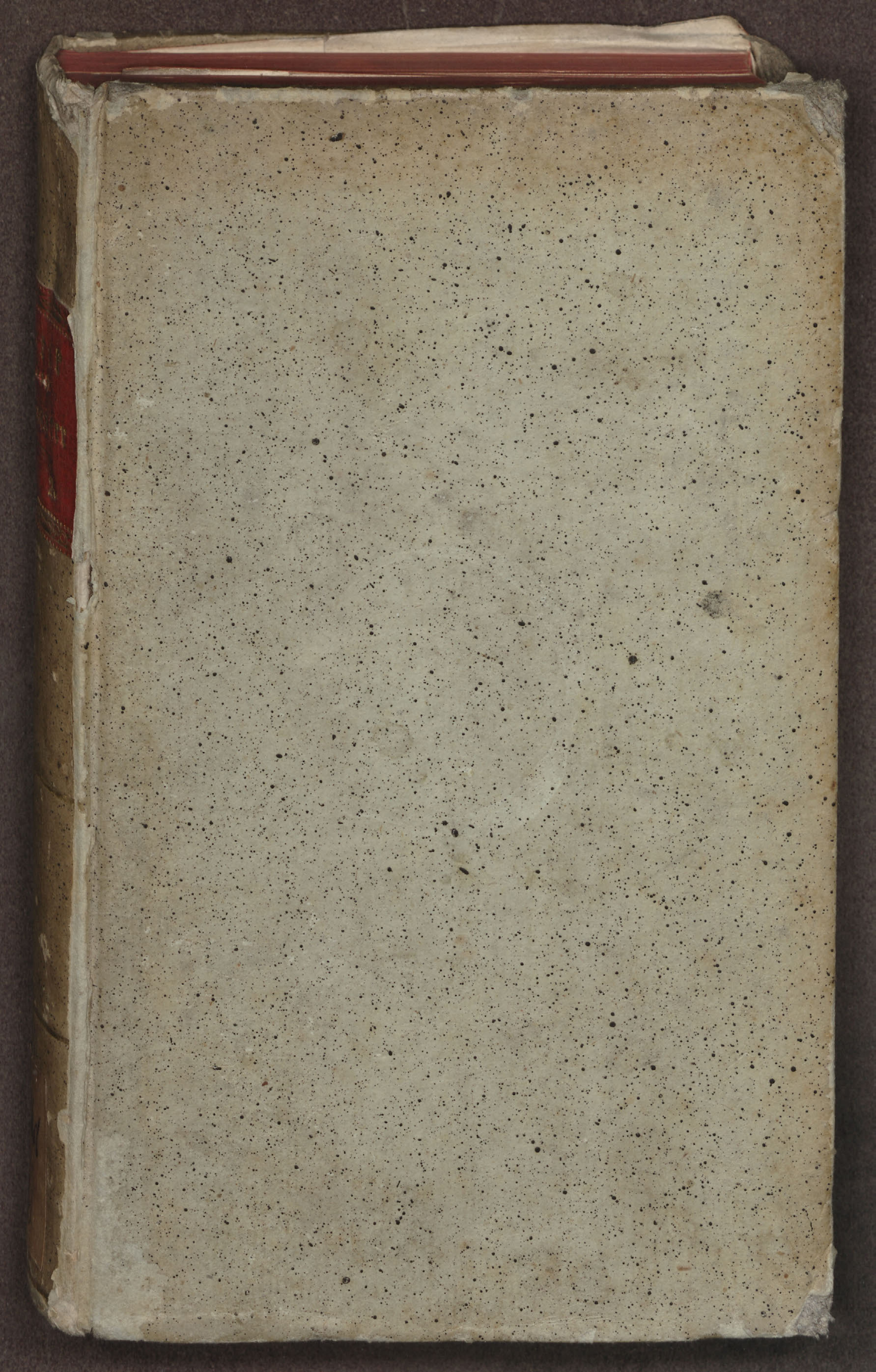
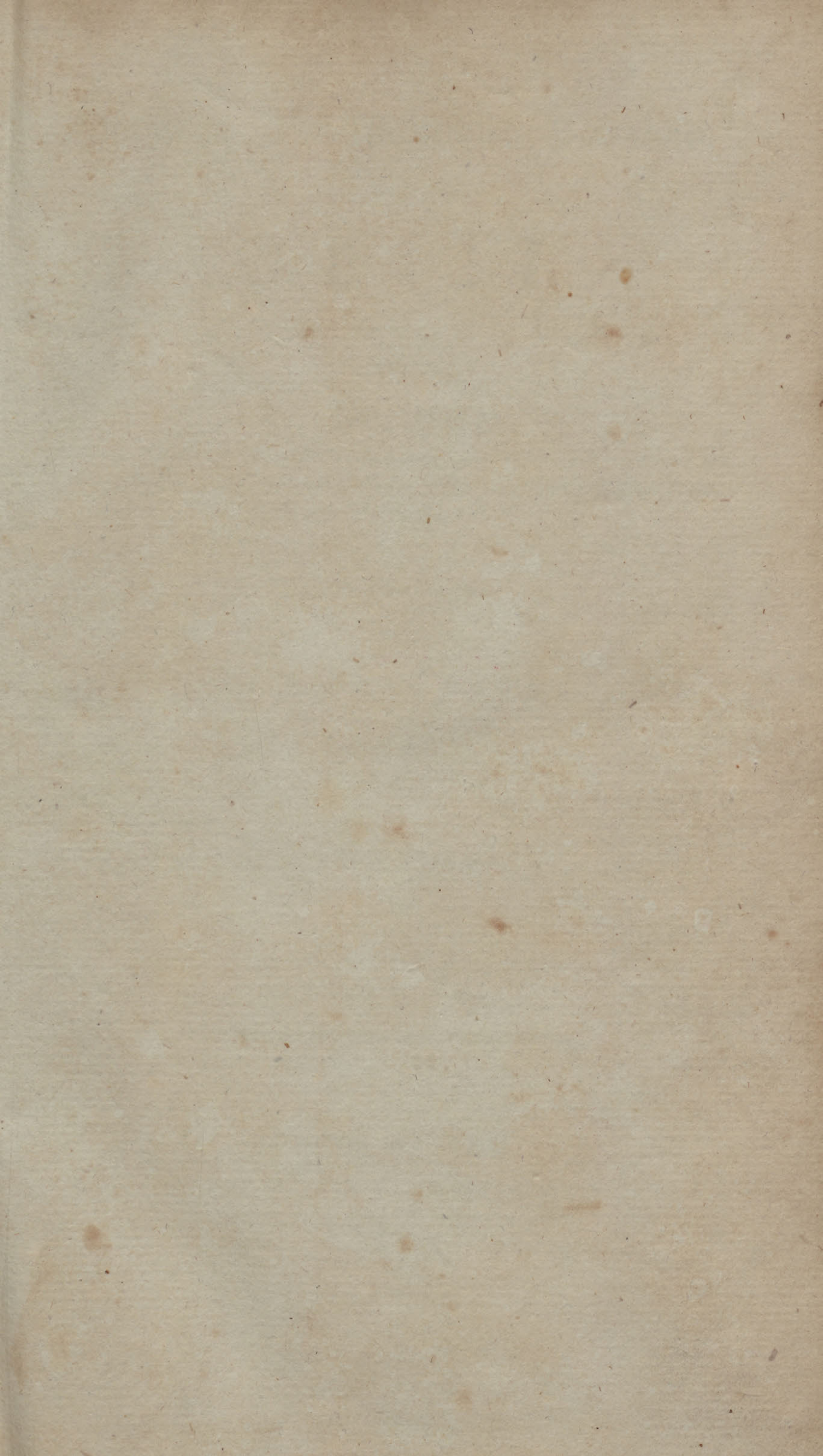
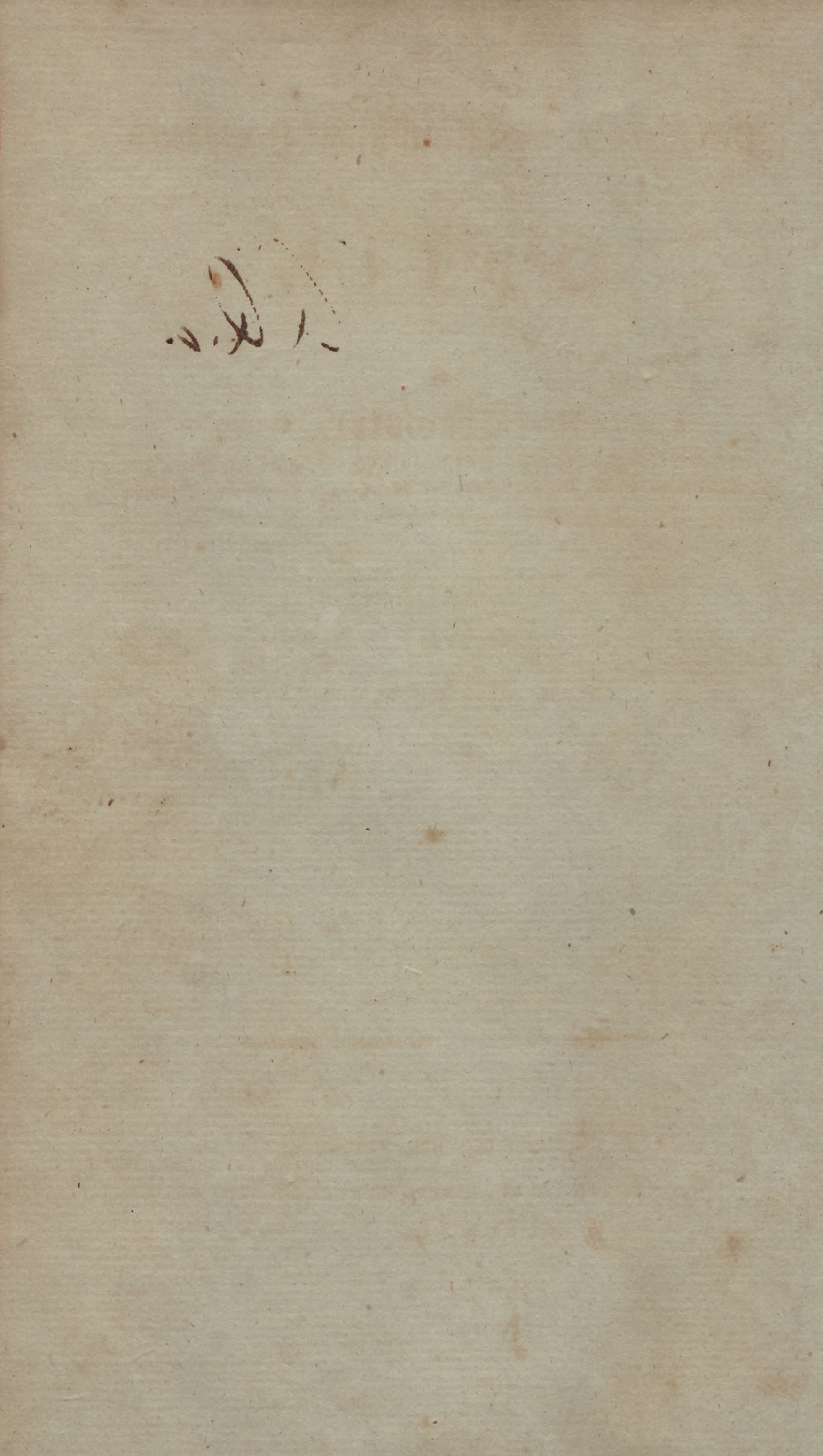






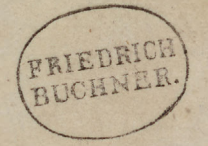
Populäres, vollständiges Handbuch
der
Optik.

Von
Dr. Brewster,
Mitgliede der königl. Societät, correspondirendem Mitgliede der Akademie der Wissenschaften zu Paris, Ehrenmitgliede der Akademien zu Petersburg, Stockholm, Göttingen, Copenhagen u. s. w.

In's Deutsche übersetzt
von
Dr. J. Hartmann.



Erster Band.



Mit 2 Tafeln Abbildungen.

Quedlinburg und Leipzig.
Druck und Verlag von Gottfr. Basse.
1835.


BIBLIOTEKA ELBLĄSKA


Stadt-
bücherei
Elbing


BIBLIOTEKA
W TORUNIU
UNIWERSYTECKA

Vorwort.

Die Arbeiten von Brewster im Gebiete der physikalischen Wissenschaften sind bekannt genug und hinlänglich von den ausgezeichnetsten Physikern gewürdigt, um mich einer Rechtfertigung zu überheben, wenn ich sein Handbuch der Optik in einer deutschen Bearbeitung dem deutschen Publikum vorlege. Der hohe Rang, den der Verfasser unter den Naturforschern einnimmt, gründet sich vorzüglich mit auf seine optischen Untersuchungen und Entdeckungen; es kann daher einem Werke, worin derselbe die gesammte Optik populär vorträgt, und nebenbei die Resultate seiner Forschungen, so wie die Art seiner Untersuchungen mittheilt, nicht an Interesse fehlen. Als ich deßhalb von der Verlagshandlung den Wunsch ausgesprochen hörte, ihr gegenwärtige Uebersetzung besorgen zu wollen, nahm ich keinen Anstand, diesem Wunsche zu genügen, und bestrebte mich, das Brewster'sche Handbuch dem deutschen Publikum in einer einfachen, und so viel ich hoffe, eben so verständlichen Darstellung vorzulegen, als es das Original für seine Leser ist. Ich hatte dabei zugleich die französische Uebersetzung von Vergnaud vor mir liegen, aus welcher namentlich der Anhang II. zum zweiten Bande genommen ist.

Zu Berichtigungen können Arbeiten von einem so ausgezeichneten Gelehrten nicht leicht Veranlassung geben; zu Bemerkungen hätte sich allerdings in einer Schrift, wie der vorliegenden, so wie in jeder physikalischen Arbeit eines Andern, an mehren Stellen Gelegenheit gefunden, wo die Ansichten des Verfassers von denen anderer ausgezeichneter Physiker abweichen; allein ich hielt solche in einem Werke, welches

mehr für das gesammte gebildete Publikum, als für den eigentlichen gelehrten Forscher geschrieben ist, für unpassend, wenn sonst auch physikalische Hypothesen Interesse genug für mich gehabt hätten, um die Meinungen Mehrer zusammenzustellen. Nur da, wo die Verständlichkeit zu gewinnen schien, wagte ich es, kleine Abänderungen oder Zusätze zu machen, ohne deßhalb den Sinn des Originals zu ändern.

Die englischen Maße habe ich überall beibehalten, aus dem Grunde, weil es an den meisten Stellen nicht auf den absoluten Zahlenwerth, sondern nur auf das relative Verhältniß der Zahlen ankam. Wo dies nicht der Fall ist, wird der Leser die Reduction leicht selbst vornehmen können, wenn er sonst andere Maße nöthig haben sollte. Wir bemerken zu diesem Zwecke, daß der englische Fuß = 0,971137 rheinl. oder = 0,964227 wiener Fußen, oder = 0,304794 franz. Metern ist, und daß 4 englische Seemeilen eine geographische Meile ausmachen.

Hartmann.

Inhalt
des ersten Bandes.

Populäres, vollständiges Handbuch

der

Optik.

Erster Band.

Einleitung.

§. 1.

Die Optik (ihrer Wortbedeutung nach die Wissenschaft des Sehens) beschäftigt sich mit den Eigenschaften des Lichtes und mit den Gesetzen des Sehens.

§. 2.

Licht nennen wir die Ursache der Sichtbarkeit der Körper; es strömt von letzteren zu dem Auge und gestattet diesem dadurch, die Körper wahrzunehmen.

Die sichtbaren Körper zerfallen in zwei Classen, in leuchtende und in dunkle Körper.

Die leuchtenden Körper haben die Eigenschaft, die Ursache ihres Sichtbarwerdens selbst zu entwickeln und Licht nach allen Seiten zu verbreiten; dies ist z. B. der Fall mit der Sonne und den Fixsternen, mit jeder Flamme und mit den Körpern, die durch Erhitzung oder Reibung glühen. Die dunklen Körper verbreiten dagegen kein eigenes Licht, sondern werden erst dadurch sichtbar, daß sie das Licht zurückstrahlen, was ihnen andere leuchtende Körper zugeworfen haben. Ein dunkler Körper kann indeß auch sein Licht von einem andern dunklen Körper erhalten, und es einem dritten dunklen Körper zuwerfen; jedenfalls aber kommt das Licht zuerst von einem leuchtenden Körper her. Trägt man eine brennende Kerze in ein dunkles Zimmer, so wird die Flamme in ihrer Gestalt durch ihr eigenes Licht sichtbar; die Gegenstände des Zimmers dagegen erkennt man erst durch das Licht, welches die Kerze auf sie wirft und welches von den Gegenständen zurückgeworfen wird; befinden sich Körper im Zimmer, die das Kerzenlicht nicht treffen kann, so erhalten diese Licht von der erleuchteten weißen Decke und den Mauern, und werden dadurch dem Auge wahrnehmbar.

§. 3.

Das Licht hat jedesmal die Farbe des Körpers, von welchem es

herrührt, mag dieser ein leuchtender oder ein dunkler Körper sein. Eine rothe Flamme oder ein Stück rothglühendes Eisen werfen rothes Licht um sich; ein rother Tuchlappen wirft rothes Licht ins Auge, obgleich er von dem weißen Sonnenlichte erleuchtet wird.

§. 4.

Das Licht strömt aus allen Punkten eines selbst leuchtenden oder erleuchteten Körpers, und nach jeder Richtung, in welcher der Punkt sichtbar ist. An der Flamme einer brennenden Kerze oder auf einem Blatte weißen Papiers ist jeder Punkt sichtbar.

§. 5.

Das Licht bewegt sich in gerader Linie, und besteht aus einzelnen unabhängigen und getrennten Theilen, die man Lichtstrahlen nennt. Macht man in die geschlossenen Fensterladen eines finstern Zimmers ein kleines Loch, in welches die Sonnenstrahlen eindringen können, so erleuchtet der eindringende Lichtstrahl gerade den Theil der Mauer, der der Sonne genau gegenüberliegt, dergestalt, daß die Mitte dieser erleuchteten Stelle, die Mitte des Loches im Fensterladen und der Mittelpunkt der Sonne in einer einzigen geraden Linie liegen. Befindet sich bei dem Versuche Staub oder Rauch im Zimmer, so sieht man an den erleuchteten Staub- oder Rauchtheilchen deutlich, daß sich das Licht in gerader Linie bewegt. Hemmt man einen Theil des Lichtes, indem man das Loch etwas schließt, und läßt den Rest des Lichtes ins Zimmer, oder hemmt man fast alles Licht, so daß so wenig als möglich eindringt, so wird das eindringende Licht durch die Trennung von dem Uebrigen nicht gestört. Ein solcher möglichst kleiner Theil von Licht heißt ein Lichtstrahl.

§. 6.

Das Licht legt in einer Sekunde einen Weg von 192500 französischen oder 45296 geographischen Meilen (etwa 32000 Myriameter) zurück; es braucht von der Sonne bis zur Erde (ein Weg von mehr als 20 Millionen Meilen) nicht länger als $7\frac{1}{2}$ Minute Zeit. Dasselbe würde zu einem Wege, welcher dem Umfange unserer Erde gleich ist, nur den achten Theil einer Sekunde brauchen, ein Weg, den der schnellste Vogel kaum in 20 Tagen zurücklegen könnte.

§. 7.

Trifft das Licht auf einen Körper, so wird ein Theil desselben zurückgeworfen (Reflexion des Lichtes), und der Rest dringt in den

Körper hinein, wo er sich dann entweder in diesem verliert oder durch ihn durchgeht. Hat der Körper eine glänzende und gut polirte Oberfläche, wie z. B. Silber, so wird der größte Theil des Lichtes zurückgeworfen; das übrige Licht verliert sich im Silber und kann durch dasselbe nur dann hindurchgehen, wenn dieses zu sehr dünnen Blättchen ausgewalzt ist. Ist der Körper durchsichtig, wie Glas oder Wasser, so geht fast alles Licht hindurch und es wird dann nur eine äußerst geringe Menge zurückgeworfen. Das von den Körpern zurückgeworfene Licht wird nach besondern Gesetzen reflectirt, und der Theil der Optik, der die Erforschung dieser Gesetze zum Zweck hat, heißt die Katoptrik. Desgleichen lassen die durchsichtigen Körper das Licht nach besondern Gesetzen durch sich hindurchgehen, und dieser Theil der Optik führt den Namen der Dioptrik.

Erster Abschnitt.

Die Zurückwerfung und Brechung des Lichtes. (Reflexion und Refraction.)

I. Die Katoptrik.

§. 8.

Die Katoptrik ist derjenige Theil der Optik, welcher den Weg und die Richtung des von ebenen oder Kugel-Oberflächen zurückgeworfenen Lichtstrahles, so wie die Abspiegelung der vor diesen Oberflächen befindlichen Körper untersucht.

Erstes Capitel.

Reflexion des Lichtes mittelst Spiegel.

§. 9.

Spiegel heißt jeder regelmäßig geformte Körper, dessen man sich zur Zurückwerfung des Lichtes oder zur Erzeugung des Bildes von einem Gegenstande bedient. Gewöhnlich verfertigt man die Spiegel aus Metall oder Glas, deren Oberfläche man sorgfältig polirt. Vorzugsweise führen den Namen der Spiegel die gläsernen, die man denn immer auf der Rückseite mit Folie belegt, damit sie das Licht besser zurückwerfen. Die metallenen Spiegel, die aus Silber, Stahl oder aus einer Legirung von Kupfer und Zinn verfertigt werden, heißen Metallspiegel (Reflectoren) *).

§. 10.

Die Spiegel sind entweder Plan- oder Concav- oder Convexspiegel. Die Planspiegel sind vollkommen eben, wie eine Eisfläche; die Concavspiegel sind hohl, wie die innere Seite eines Uhrglases, und die Convexspiegel sind erhaben, wie die Außenseite eines Uhr-

*) Ein gutes Metall zu Spiegeln geben 64 Theile Kupfer und 29 Theile Zinn, oder 32 Theile Kupfer, 15 Theile Zinn, 1 Theil Messing und 1 Theil Arsenik. A. d. Ü.

glases. Da bei gläsernen Spiegeln das Licht, welches auf das Glas fällt, dieses erst durchdringen muß, ehe es von der Quecksilberbelegung zurückgeworfen werden kann, und sich aus diesem Grunde die Gesetze einer solchen Zurückwerfung nicht so ganz einfach darstellen: so wollen wir im Folgenden immer Spiegel von polirtem Metalle voraussetzen, wie es denn die Spiegel der meisten optischen Instrumente auch wirklich sind.

§. 11.

Fällt ein Lichtstrahl **AD** (Fig. 1) auf einen Planspiegel **MN** im Punkte **D** auf, so wird er in einer solchen Richtung **DB** zurückgeworfen, daß **DB** mit dem im Punkte **D** auf der Ebene **MN** errichteten Perpendikel einen eben so großen Winkel einschließt, als **AD** mit diesem Perpendikel einschließt, so daß also der Winkel **BDE** gleich dem Winkel **ADE** ist, oder daß die Kreisbogen **BE** und **AE** gleich sind.

Hierbei heißt denn der Strahl **AD** der einfallende Strahl, **DB** der zurückgeworfene (reflectirte) Strahl; **ADE** wird der Einfallswinkel, **BDE** der Reflexionswinkel genannt. Die Ebene, welche durch **AD** und **BD** geht, heißt die Einfalls- oder Reflexionsebene.

§. 12.

Trifft ein Lichtstrahl auf einen Concavspiegel **MN** (Fig. 2), und ist **G** der Mittelpunkt des Kreises, von welchem **MN** ein Bogen ist, so bilden der einfallende Strahl **AD** und der zurückgeworfene Strahl **DB**, mit der Linie **GD**, welche senkrecht auf dem Theile der Spiegelfläche steht, auf den der Strahl trifft, gleiche Winkel. Auch hier ist also der Einfallswinkel **ADE** dem Reflexionswinkel **BDE** gleich.

§. 13.

Hat man einen Convexspiegel **MN** (Fig. 3), und ist **C** der Mittelpunkt des Kreises, zu welchem **MN** als Bogen gehört, so wie **CE** ein Perpendikel auf den Punkt **D**; dann ist gleichfalls der Einfallswinkel **ADE** dem Reflexionswinkel **BDE** gleich.

Daß diese Behauptungen richtig sind, beweist die Erfahrung. Will man sich selbst davon überzeugen, so lasse man durch ein Loch im Fensterladen einen Sonnenstrahl auf die Spiegel **MN** (Fig. 1, 2, 3) fallen; trifft der Strahl in der Richtung **AD** auf, so wird er jedesmal in der Richtung **DB** zurückgeworfen. Bringt man den Einfallsstrahl **AD** dem Perpendikel **DE** näher, so nähert sich auch der zurückgewor-

fene Strahl dem Perpendikel; fällt **AD** in der Richtung **ED** auf, so wird er auch in der Richtung **DE** reflectirt; nähert sich **AD** der Spiegelfläche **DN**, so nähert sich **DB** gleichfalls der Spiegelfläche **DM**.

§. 14.

Diese Resultate kann man, wegen ihrer fortwährenden Gewißheit, als das allgemeine Gesetz aussprechen: Fällt der Lichtstrahl auf irgend eine ebene oder krumme Fläche, so ist immer der Einfallswinkel dem Reflexionswinkel gleich.

Mit Hilfe dieses Gesetzes ist man denn im Stande, eine allgemeine Methode anzugeben, nach welcher man aus der bekannten Lage des einfallenden Strahles die Richtung des zurückgeworfenen finden kann. Fällt z. B. der Lichtstrahl in der Richtung **AD** (Fig. 1, 2, 3) auf den Spiegel im Punkt **D** auf, so ziehe man in Fig 1 ein Perpendikel **DE**, in den Fig. 2 und 3 nur eine gerade **L** von dem Mittelpunkte **G** oder **C** nach **D** und verlängere diese in Fig. 3 rückwärts; hierauf beschreibe man aus dem Punkte **D** als Mittelpunkte einen Kreis **MBEAN**, fasse den Bogen **AE** zwischen den Zirkel, und trage ihn auf der andern Seite des Perpendikels von **E** nach **B** ab; **DB** ist dann die Richtung des zurückgeworfenen Strahles.

Reflexion des Lichtes mittelst Planspiegel.

§. 15.

Zurückwerfung paralleler Lichtstrahlen.

Lichtstrahlen, welche vor ihrem Einfalle auf einen Planspiegel parallel sind, wie **AD** und **A'D'** (Fig. 4), bleiben auch parallel nach ihrer Zurückwerfung. Denn nach der vorhin aufgestellten Methode beschreibt man aus den Punkten **D** und **D'** als Mittelpunkten Kreisbogen, macht den Bogen von **E** nach **B** dem Bogen zwischen **AD** und **DE**, sowie den Bogen von **E'** nach **B'** dem Bogen zwischen **A'D'** und **D'E'** gleich; zieht man dann die Linien **DB** und **D'B'**, so sind diese parallel.

Ist der Raum zwischen **AD** und **A'D'** mit lauter Strahlen ausgefüllt, die mit **AD** parallel einfallen, also einen Lichtbüschel paralleler Strahlen oder eine einzige Lichtmasse **AA'DD'** bilden, so werden sämmtliche reflectirte Strahlen parallel zu **DB** sein, und eine einzige reflectirte Masse von Parallelstrahlen ausmachen. Die reflectirte Masse hat aber eine verkehrte Lage, indem die Seite **AD**, die vor der Reflexion oben lag, nach der Zurückwerfung in **DB**, also unten liegen wird.

§. 16.

Reflexion divergirender Strahlen.

Divergirende Lichtstrahlen kommen von einem einzigen Punkte A (Fig. 5) her, trennen sich dann aber beim Fortgange immer weiter in die Strahlen AD, AD′, AD″. Treffen nun solche Lichtstrahlen auf einen Planspiegel MN, so werden sie in den Richtungen DB, D′B′, D″B″ zurückgeworfen; diese Richtungen findet man nach der frühern Methode, indem man in den Punkten D, D′ D″ Perpendikel DE, D′E′, D″E″ auf den Spiegel fällt, und den Winkel ADE dem Winkel BDE, den Winkel AD′E′ dem Winkel B′D′E′, den Winkel AD″E″ dem Winkel B″D″E″ gleich macht. Verlängert man die reflectirten Lichtstrahlen rückwärts, so schneiden sie sich in einem Punkte A′, und dieser Punkt liegt eben so weit hinter dem Spiegel MN, als A vor ihm liegt; fällt man nämlich das Loth ANA′ auf MN, so ist A′N der Linie AN gleich. Auf diese Weise divergiren denn die Strahlen nach ihrer Reflexion eben so wie vorhin. Sieht man AD′D als eine einzige divergirende Masse zwischen AD und AD′ an, so wird die zwischen DB und DB″ eingeschlossene Masse nach ihrer Reflexion vom Punkte A′ ausgehen und die umgekehrte Lage von der vor der Reflexion haben.

§. 17.

Reflexion convergirender Strahlen.

Convergirende Strahlen fahren von mehren Punkten A, A′, A″ (Fig. 6) aus, und fließen in einen einzigen Punkt B zusammen. Fallen Strahlen dieser Art auf einen Planspiegel MN, so werden sie nach den Richtungen DB′, D′B′, D″B′ zurückgeworfen, wo sie mit den Perpendikeln DE, D′E′, D″E″ dieselben Winkel wie die Einfallsstrahlen bilden, und sämmtlich auf einen Punkt B′ gerichtet sind, der eben so weit vor dem Spiegel als B hinter ihm liegt. Betrachtet man ADD″A″ als eine einzige convergirende Lichtmasse, so hat die reflectirte Masse D″B′D dieselbe Gestalt.

In allen diesen Fällen wird die einfallende Lichtmasse durch die Reflexion nur in eine verkehrte Lage gebracht, deren Divergenz- oder Convergenzpunkt auf der andern Seite des Spiegels liegt.

Reflexion der Lichtstrahlen mittelst Concavspiegel.

§. 18.

Reflexion paralleler Strahlen.

Es sei MN (Fig. 7) ein Concavspiegel, dessen Mittelpunkt C ist;

AM, AD, AN seien Parallelstrahlen, oder eine aus solchen Lichtstrahlen gebildete Masse, die auf den Spiegel fällt. Dann stehen CM, CN in den Punkten M, N senkrecht auf der Oberfläche des Spiegels; folglich sind CMA, CNA die Einfallswinkel der Strahlen AM, AN. Macht man nun die Reflexionswinkel CMF, CNF den Einfallswinkeln gleich, so begegnen sich die Linien MF, NF in einem Punkte F, welcher in der Linie AD liegt, und die Linien MF, NF sind die Richtungen der reflectirten Strahlen. Der Lichtstrahl ACD steht senkrecht auf der Spiegelfläche im Punkte D, weil er durch den Mittelpunkt C geht; er wird daher in der umgekehrten Richtung DF zurückgeworfen, und die drei Lichtstrahlen AD, AM und AN schneiden sich nach ihrer Reflexion in einem und demselben Punkte F. — Auf gleiche Weise werden alle zwischen AM und AN befindlichen Strahlen, welche auf Punkte der Spiegelfläche fallen, die zwischen M und N liegen, nach demselben Punkte F zurückgeworfen. Dieser Punkt F, in welchem sich alle auf einen Concavspiegel fallenden Lichtstrahlen nach ihrer Reflexion begegnen, heißt der Brennpunkt, aus dem Grunde, weil die in diesem Punkte concentrirten Strahlen das Vermögen besitzen, jeden in ihm befindlichen brennbaren Körper zu entzünden. Fallen die Lichtstrahlen, wie es hier der Fall ist, parallel auf den Spiegel, so heißt der Punkt F der Brennpunkt der Parallelstrahlen oder der Hauptbrennpunkt. Der Gedanke, daß die Strahlenmasse AMNA vor ihrem Einfallen auf den Spiegel einen so großen Raum einnimmt, und durch die Reflexion in einen kleinen Raum F zusammengedrängt wird, macht es begreiflich, wie sie hier die Kraft bekommen könne, Körper zu entzünden.

Allgemeine Regel. Die Entfernung des Brennpunktes F vom nächsten Punkte D des Convexspiegels MN (vom Scheitelpunkte) beträgt bei jedem solchen Spiegel, aus welcher Masse er auch verfertigt sein mag, die Hälfte von CD, dem Krümmungshalbmesser des Spiegels. Die Entfernung FD des Brennpunktes vom Scheitelpunkte heißt die Hauptbrennweite des Spiegels.

Von der Richtigkeit dieser Regel überzeugt man sich leicht, wenn man die Figur 7 nach einem größern Maßstabe zeichnet, und die Punkte M und N nahe bei D legt.

§. 19.

Reflexion divergirender Strahlen.

Es sei MN (Fig. 8) ein Concavspiegel, dessen Krümmungsmittelpunkt C ist. Die Strahlen AM, AD, AN fahren vom Punkte A aus in divergirenden Richtungen auf die Punkte M, D, N des Spiegels und werden von diesen Punkten zurückgeworfen. Um dann die Richtungen der reflectirten Strahlen zu finden, ziehe man auf die Punkte M, D, N die Lothe CM, CD, CN und mache den Winkel FMC gleich dem Winkel AMC, den Winkel FNC gleich dem Winkel ANC; die Linien MF und NF sind dann die Richtungen der reflectirten Strahlen AM und AN, und der Punkt F, wo sich diese beiden Strahlen schneiden, ist der Brennpunkt, in welchem sich alle Strahlen nach ihrer Reflexion vereinigen.

Vergleicht man Figur 7 mit Figur 8, so zeigt sich, daß, so wie in Fig. 8 der einfallende Strahl AM dem Lothe CM näher liegt, als eben dieser Strahl in Fig. 7, auch der reflectirte Strahl MF in Fig. 8 dem Lothe CM näher liegen wird, als in Fig. 7. Da dies nun auch für den Strahl NF gilt, so folgt daraus, daß der Punkt F in Fig. 8 näher an C liegt als in Fig. 7. Es wird also bei der Reflexion divergirender Strahlen die Brennweite DF des Spiegels größer sein, als sie es bei Parallelstrahlen ist.

Rückt man den Divergenzpunkt A, den sogenannten strahlenden Punkt, dem Mittelpunkte C des Spiegels (Fig. 8) näher, so nähern sich die einfallenden Strahlen AM, AN den Lothen CM, CN; mithin werden sich auch die reflectirten Strahlen diesen Lothen CM, CN nähern. Rückt folglich der strahlende Punkt A dem Mittelpunkte des Spiegels näher, so nähert sich auch der Brennpunkt F dem Mittelpunkte des Spiegels; kommt A in C an, so fällt auch F mit C zusammen. Kommen daher die divergirenden Strahlen aus dem Mittelpunkte des Hohlspiegels, so werden sie in denselben Punkt reflectirt.

Geht der Punkt A über den Mittelpunkt C des Hohlspiegels fort nach D zu, so rückt der Brennpunkt F über C fort nach A zu, und wenn der strahlende Punkt in F liegt, so wird das Licht in A concentrirt werden. Ueberhaupt wird immer, wenn der strahlende Punkt im Brennpunkte liegt, der Brennpunkt im Strahlpunkte liegen. Beide wechseln also mit einander und haben deshalb den gemeinschaftlichen

Namen der **conjugirten Brennpunkte** erhalten, indem der eine immer Strahlpunkt, wenn der andere Brennpunkt ist.

Eben so werden, wenn man in (Fig. 7) F zum Strahlpunkte annimmt, die reflectirten Strahlen MA, NA sein, also nicht mehr in einen Brennpunkt zusammenlaufen, sondern parallel zu einander fortgehen. Man sagt dann, der Brennpunkt liege unendlich weit vom Mittelpunkte des Spiegels entfernt, oder die Brennweite sei **unendlich groß** geworden.

Liegt der Punkt F in f (Fig. 9), so haben die zurückgeworfenen Strahlen die Richtungen Ma und Na; sie divergiren, als kämen sie aus dem hinter dem Spiegel liegenden Punkte A' her, und sie divergiren um so mehr, je näher f an D kommt, gerade als ob der Punkt A', der ihr Divergenzpunkt zu sein scheint, nach D zu rückte. Der Punkt A', aus welchem die Strahlen Ma, Na zu kommen scheinen, und in welchem sie sich vereinigen würden, wenn sie in den Richtungen aM und aN ohne Spiegelung fortgingen, heißt der **virtuelle** Brennpunkt, weil die Strahlen sich nicht wirklich in ihm vereinigen, sondern nur zu vereinigen streben.

In allen diesen Fällen kann man die Brennweite, wenn der Krümmungshalbmesser des Hohlspiegels und die Entfernung des strahlenden Punktes vom Spiegel bekannt sind, entweder durch Zeichnung oder nach folgender Regel finden:

Man multiplicire die Entfernung des strahlenden Punktes vom Spiegel mit dem Halbmesser des Spiegels, und dividire dieses Produkt durch die Differenz zwischen der doppelten Entfernung des strahlenden Punktes und dem Radius des Spiegels; der Quotient gibt FD, die gesuchte Entfernung der conjugirten Brennpunkte. Bei der Anwendung dieser Regel hat man darauf zu achten, daß, wenn wie in Fig. 9 die doppelte Entfernung des strahlenden Punktes vom Spiegel kleiner als der Halbmesser des Spiegels ist, die reflectirten Lichtstrahlen sich nicht vor dem Spiegel, sondern in einem virtuellen Brennpunkte hinter dem Spiegel schneiden. Man findet dann mit Hilfe der eben aufgestellten Regel die Entfernung dieses Brennpunktes vom Punkte D.

§. 20.

Reflexion convergirender Strahlen.

MN (Fig. 10) ist ein Hohlspiegel, dessen Halbmesser CD ist.

Auf diese Spiegel fallen die Strahlen AM, AD, AN, die in einem hinter dem Spiegel liegenden Punkte A′ convergiren, in den Punkten M, D, N auf, und werden nach dem Punkte F reflectirt. Zieht man nämlich aus dem Mittelpunkte die Linien CM, CD, CN, so sind diese lothrecht auf den Spiegel in den Punkten M, D, N; man braucht also dann nur den Winkel FMC dem Winkel AMC, und den Winkel FNC dem Winkel ANC gleich zu machen; im Punkte F, wo diese Linien sich schneiden, convergiren die Strahlen und er ist der Brennpunkt. Eine Vergleichung der Figur 10 mit der Figur 7 zeigt, daß so wie der Einfallsstrahl AM (Fig. 10) von dem Lothe CM weiter entfernt ist als dieser Strahl AM in Fig. 7, auch der reflectirte Strahl MF in Fig. 10 weiter von dem Lothe CM abliegt als in Fig. 7; dieses gilt auch von dem reflectirten Strahle NF, und daraus erhellet, daß der Punkt F in Fig. 10 weiter von dem Mittelpunkte C abliegt als in Fig. 7, daß also bei der Reflexion convergirender Lichtstrahlen die Brennweite DF kleiner ist als bei Parallelstrahlen.

Läßt man den Convergenzpunkt A′ (Fig. 10) näher nach D zu rücken, oder (was dasselbe ist) gibt man den Strahlen AM und AN eine größere Convergenz, so entfernen sich diese Strahlen weiter von den Perpendikeln CM und CN; es werden sich also auch die reflectirten Strahlen weiter von den Perpendikeln CM und CN entfernen und den Brennpunkt nach D zu rücken. Kommt dabei der Punkt A′ in D an, so fällt auch F mit D zusammen.

Macht man die Strahlen AM und AN weniger convergent, indem man ihren Convergenzpunkt A′ von D aus links fortrücken läßt, so wird F nach der rechten Seite hin von D wegrücken, und hat A′ eine unendlich große Entfernung von D, d. h. sind die Strahlen AM und AN parallel wie in Fig. 7, so liegt F in der Mitte zwischen D und C.

In allen diesen Fällen findet sich die Lage des Brennpunktes aus folgender Regel:

Man multiplicire den Abstand des Convergenzpunktes vom Spiegel mit dem Radius des Spiegels, und dividire dieses Produkt durch die doppelte Entfernung des Convergenzpunktes und durch den Radius des Spiegels; der Quotient ist die Brennweite FD und der Brennpunkt liegt immer vor dem Spiegel.

Reflexion der Lichtstrahlen mittelst Convexspiegel.

§. 21.

Reflexion paralleler Strahlen.

Es sei MN (Fig. 11) ein Convexspiegel, dessen Mittelpunkt C ist. Auf seine erhabene Seite fallen die Lichtstrahlen AM, AD, AN parallel zu einander. Verlängert man dann die Linien CM und CN bis nach E, so stehen die Linien ME und NE senkrecht auf der Oberfläche des Spiegels in den Punkten M und N. Macht man folglich den Winkel BME gleich dem Winkel AME, und den Winkel BNE gleich dem Winkel ANE, so sind die Einfallswinkel den Reflexionswinkeln gleich, und die Lichtstrahlen werden in den Richtungen MB und NB reflectirt. Verlängert man die Strahlen BM und BN rückwärts über den Spiegel hinaus, so schneiden sie sich in einem Punkte F hinter dem Spiegel, welcher ihr virtueller Brennpunkt ist. Die Brennweite FD der parallelen Strahlen ist sehr nahe der Hälfte des Radius CD gleich, wenn nur die Punkte M und N nicht zu weit von D entfernt liegen.

§. 22.

Reflexion divergirender Strahlen.

MN (Fig. 12) ist ein Convexspiegel, C der Mittelpunkt seiner Krümmung. Aus dem Punkte A fallen die divergirenden Strahlen AM und AN in den Punkten M und N auf den Spiegel. Verlängert man dann, wie im vorigen §., die Linien CM und CN nach E, und macht die Winkel EMB und ENB den Winkeln AME und ANE gleich, so sind MB und NB die reflectirten Strahlen, welche sich, rückwärts verlängert, in einem Punkte F hinter dem Spiegel schneiden. Der Punkt F ist dann der virtuelle Brennpunkt der Strahlen.

Aus einer Vergleichung der zwölften und elften Figur ergibt sich, daß der Einfallsstrahl AM in Fig. 12 weiter vom Lothe entfernt ist als in Fig. 11, daß also auch der reflectirte Strahl MB im ersten Falle weiter vom Lothe abliegt als in Fig. 11. Dies gilt auch von dem Strahle NB. Es wird folglich der Punkt F, in welchem sich die Strahlen schneiden, in Fig. 12 näher bei D liegen, als in Fig. 11; die virtuelle Brennweite divergirender Lichtstrahlen ist mithin kleiner, als die der parallelen Strahlen.

Läßt man den Divergenzpunkt A dem Spiegel näher rücken, so

nähert sich auch der virtuelle Brennpunkt dem Spiegel; kommt **A** in **D** an, so rückt auch zugleich **F** in **D** ein. Entfernt sich **A** vom Spiegel, so entfernt sich auch **F** von ihm, und ist **A** unendlich weit vom Spiegel entfernt, d. h. fallen die Lichtstrahlen in parallelen Richtungen wie Fig. 11 auf, so liegt **F** in der Mitte zwischen **D** und **C**. Jedenfalls ist hier immer der Brennpunkt nur virtuell und hinter dem Spiegel befindlich.

Zweites Capitel.

Spiegelbilder.

§. 23.

Jedes Bild eines Gegenstandes ist ein Wiederschein dieses Gegenstandes, der sich in der Luft oder im Auge oder auf einer weißen Fläche, z. B. einem Blatte Papier, abspiegelt. In der Regel entstehen die Bilder durch Spiegel oder Linsen und gleichen dem Gegenstande der Gestalt und Farbe nach vollständig, obgleich man sie auch dadurch zum Vorschein bringen kann, daß man zwischen den Gegenstand und das Papierblatt, worauf er sich abbilden soll, einen Schirm mit einer kleinen Oeffnung stellt. Es sei zu dem Ende **CD** (Fig. 13) ein Schirm oder ein Fensterladen mit einer kleinen Oeffnung **A**, und **EF** ein Stück weißes Papier, welches sich in einem dunklen Zimmer befindet. Bringt man dann vor den Fensterladen einen erleuchteten Gegenstand **BGR**, so erblickt man auf dem Papiere das Bild desselben **rgb**, aber in umgekehrter Lage. Denn gesetzt, der Gegenstand habe drei bestimmt verschiedene Farben, die rothe in **R**, die grüne in **G** und die blaue in **B**, so ist klar, daß der rothe Lichtstrahl in gerader Linie durch die Oeffnung **A** hindurchgeht und das Papier in **r** trifft. Eben so fällt der grüne Lichtstrahl **G** auf das Papier in **g**, und der blaue **B** auf das Papier in **b**, wodurch also auf dem Papier ein umgekehrtes Bild **rb** vom Gegenstande **BR** entsteht. Da ferner jeder farbige Punkt des Objectes auf dem Papiere einen entsprechenden Punkt von derselben Farbe findet, so ist das Bild **br** eine genaue Abbildung des Gegenstandes **BR**, wenigstens wenn die Oeffnung **A** klein genug ist. Ist die Oeffnung größer, so wird das Bild immer undeutlicher, und es verschwindet fast gänzlich, wenn die Oeffnung sehr groß wird, weil dann benachbarte Punkte des Gegenstandes ihr Licht auf denselben Punkt des Papiers werfen und so das Bild verwirren.

Aus (Fig. 13) ist ersichtlich, daß die Größe des Bildes **br** mit der größern Entfernung des Papiers hinter dem Spiegel zunimmt. Ist **AG** der Linie **Ag** gleich, so hat Object und Bild einerlei Größe; ist **Ag** kleiner als **AG**, so ist das Bild kleiner als das Object, und ist **Ag** größer als **AG**, so ist das Bild größer als das Object.

Jeder Punkt des Objectes wirft Lichtstrahlen nach allen Richtungen; das Bild **rb** wird nur von den Lichtstrahlen gebildet, die durch die kleine Oeffnung **A** fallen; solcher Strahlen gibt es aber nur wenige, daher hat dann auch das Bild nur sehr wenig Licht und kann zu optischen Zwecken nicht benutzt werden. Diesem Fehler helfen die Spiegel und die Linsen ab.

§. 24.

Spiegelbildung mittelst Concavspiegel.

Es sei **AB** (Fig. 14) ein Concavspiegel, dessen Centrum **C** ist; **MN** sei ein Object, welches sich in einiger Entfernung vor dem Spiegel befindet. Von sämmtlichen Strahlen, die der Punkt **M** des Objectes nach allen Richtungen hin verbreitet, nimmt der Spiegel nur diejenigen auf, die sich zwischen **MA** und **MB** befinden, also nur den Lichtkegel **MAB**, dessen Basis der durch den Bogen **AB** bestimmte Spiegelkreis ist. Bestimmt man nach der früher angegebenen Methode für die einfallenden Strahlen **MA** und **MB** die reflectirten Strahlen **Am** und **Bm**, so schneiden diese sich in einem einzigen Punkte **m** und bilden darin das Ende **M** des Objectes ab. Auf gleiche Weise wird der Lichtkegel **NAB**, den das zweite Ende des Objectes auf den Spiegel wirft, in den Punkt **n** reflectirt und bildet sich hier ab. Eben so bilden sich die Lichtkegel, die von Punkten zwischen **M** und **N** herkommen, in Punkten zwischen **m** und **n** ab, dergestalt, daß **mn** ein vollständiges aber verkehrtes Bild von **MN** wird. Dieses wird auch sehr deutlich sein, weil sich viele Lichtstrahlen zu dessen Bildung vereinigen.

Die Entfernung des Bildes vom Spiegel findet sich nach der Regel, nach welcher man die Brennweite divergirender Strahlen (§. 20.) findet, indem die Punkte **M** und **m** (in Fig. 14) den Punkten **A** und **F** (in Fig. 8) entsprechen. Was das Verhältniß der Größe des Objectes zu der des Bildes betrifft, so verhält sich in jedem Falle die Größe des Bildes zu der des Objectes, wie die Entfernung des Bildes vom Spiegel zu der Entfernung des Objectes vom Spiegel.

Ist der Spiegel groß und das Object sehr hell, wie z. B. eine weiße Gypsfigur, so erscheint das Spiegelbild m n in der Luft schwebend, und man kann dann leicht eine Menge sehr belehrender Versuche anstellen, indem man die Entfernung des Objectes vom Spiegel bald größer bald kleiner nimmt und die daraus hervorgehenden Aenderungen in der Größe und Lage des Bildes beobachtet. Befindet sich das Object in mn, so bildet sich ein vergrößertes Bild in MN.

§. 25.

Spiegelbilder mittelst Convexspiegel.

Bei Concavspiegeln bildet sich jedesmal ein Bild vor dem Spiegel, ausgenommen in dem Falle, wo das Object zwischen dem Spiegel und dem Hauptbrennpunkte liegt. In diesem Falle ist das Bild nur virtuell und hinter dem Spiegel befindlich. Bei Convexspiegeln dagegen ist das Bild immer nur virtuell und hinter dem Spiegel.

AB (Fig. 15) ist ein Convexspiegel, mit dem Mittelpunkte C; MN ist ein vor ihm befindliches Object. Das Auge des Beobachters mag sich vor dem Spiegel etwa in E befinden. Von den vielen Strahlen, welche die Punkte M und N des Objectes nach jeder Richtung hin ausfahren lassen und die von dem Spiegel reflectirt werden, gelangen nur einige wenige ins Auge. Nur solche Theile DF und GH des Spiegels können Strahlen DE; FE, GE, HE ins Auge gelangen lassen, die so liegen, daß die Einfallswinkel den Reflexionswinkeln gleich werden. Der Strahl MD wird in der Richtung DE zurückgeworfen, wenn DE mit dem Lothe CN denselben Winkel einschließt, den MD mit diesem Lothe bildet; NG wird in der Richtung GE reflectirt, MF in FE und NH in HE. Verlängert man die Linien DE und FE in umgekehrter Richtung, so schneiden sie sich in m, und es hat den Anschein, als kämen sie aus m wie aus einem Brennpunkte. Auf diese Art wird mn das virtuelle Bild des Objectes MN, und dies heißt deßhalb virtuell, weil es nicht durch eine wirkliche Vereinigung der Lichtstrahlen in einen Brennpunkt gebildet wird und deßhalb auch nicht auf dem Papiere aufgefangen werden kann. Nimmt man an, daß das Auge sich an einer andern Stelle vor dem Spiegel befinde, und zieht man von M und N aus Strahlen, die, nachdem sie vom Spiegel reflectirt sind, ins Auge gelangen, so werden diese Strahlen, nachdem man sie rückwärts verlängert hat, ihre virtuellen Brennpunkte in m und n haben. Welche Lage daher auch das Auge vor

dem Spiegel haben mag, das Bild erscheint immer auf derselben Stelle mn. Zieht man von dem Mittelpunkte des Spiegels aus die geraden Linien CM und CN, so liegen die Punkte m und n immer in diesen geraden Linien. Hieraus erhellet, daß das Bild mn nie die verkehrte Lage vom Objecte haben kann und kleiner als das Object sein muß. Es nähert sich dem Spiegel oder entfernt sich von ihm, so wie sich das Object dem Spiegel nähert oder sich von ihm entfernt, und befindet sich MN in einer unendlich weiten Entfernung vom Spiegel, so daß die von ihm kommenden Lichtstrahlen parallel sind, so liegt das Bild mn in der Mitte zwischen dem Spiegel und seinem Mittelpunkte. Bei jeder andern Lage des Objects findet man den Abstand des Bildes vom Spiegel nach der Regel (§. 22.) für divergirende Strahlen, die von Convexspiegeln reflectirt werden.

Die Größe des Bildes verhält sich zu der Größe des Objectes, wie sich Cm zu CM, d. h. wie sich der Abstand des Bildes vom Spiegelmittelpunkte zum Abstande des Objectes von diesem Punkte verhält. Bild und Object nähern sich dem Spiegel zu gleicher Zeit, und wenn sie den Spiegel berühren, so haben sie beide einerlei Größe. Hieraus ist ersichtlich, daß die Bilder der Convexspiegel immer das Object verkleinern müssen, so lange dies wenigstens nicht unmittelbar auf dem Spiegel liegt.

§. 26.

Spiegelbilder vermittelst Planspiegel.

AB (Fig. 16) ist ein Planspiegel, MN ein Object vor ihm, und E das Auge des Beobachters. Verfährt man nach den Grundsätzen, welche im vorigen §. erörtert sind, so findet man, daß sich das Object MN in mn abbildet, wo die Brennpunkte m und n durch die Verlängerungen der reflectirten Strahlen DE, FE und GE, HE bestimmt werden. Verbindet man dann die Punkte M und m, N und n durch gerade Linien Mm und Nn, so stehen diese auf der Spiegelfläche AB senkrecht, sind folglich parallel, und das Bild wird sich in demselben Abstande und derselben Lage hinter dem Spiegel befinden, wie das Object vor dem Spiegel. Deshalb sieht man die Bilder der Objecte in Spiegelgläsern in derselben Entfernung vom Spiegel und eben so gestaltet, wie die Objecte selbst.

II. Die Dioptrik.

§. 27.

Unter Dioptrik versteht man den Zweig der optischen Wissenschaften, welcher den Fortgang von Lichtstrahlen betrachtet, die in durchsichtige Körper hinein- und durch diese hindurchgehen.

Drittes Capitel.

Brechung der Lichtstrahlen.

§. 28.

Geht das Licht durch einen Wassertropfen oder ein Stück Glas, so wird es in seiner Richtung gestört, denn es fällt auf ein hinter diesen Körper gelegtes Papierblatt nicht so, als wenn diese Körper nicht vorhanden wären. Solche Körper bringen folglich in dem Lichte, welches durch sie hindurch geht, Aenderungen hervor. Die Beschaffenheit dieser Störung soll im Folgenden erforscht werden.

Es sei zu dem Ende **ABCD** (Fig. 17) ein leeres Gefäß mit einem Loche **H** in einer seiner Seitenflächen, und **S** eine brennende Kerze, in einiger Entfernung von dem Kasten so aufgestellt, daß der Lichtstrahl **SH** der Kerze auf den Boden des Gefäßes fällt und hier in **a** einen runden Lichtfleck bildet. Die Lichtmasse **SHRa** wird dann in gerader Linie liegen. Man markire sich den Punkt **a**, auf welchen der divergirende Strahl **SH** fällt, und fülle hierauf das Gefäß bis zur Höhe **EF** mit Wasser. Sobald dann die Oberfläche des Wassers ruhig geworden ist, so erblickt man den runden Fleck, der vorher in **a** war, jetzt in **b**, und der Lichtstrahl **SHRb** ist in **R** gebrochen, indem **FCR** und **Rb** zwei verschiedene gerade Linien sind, die sich in dem auf der Oberfläche des Wassers liegenden Punkte **R** schneiden. Hieraus folgt, daß alle unter dem Wasser befindlichen Objecte von einer Person, die sich außer dem Wasser befindet, nicht an der Stelle gesehen werden, an der sie sich wirklich befinden. Befände sich z. B. ein Fisch in **b** (Fig. 17), so wird ein in **S** befindliches Auge ihn in der Richtung **Sa** erblicken, welches die Richtung des gebrochenen Strahls **RS** ist; wollte man ihn also schießen, so würde man das Feuergewehr unterhalb des Punktes **a** zu richten haben. Daher kommt es, daß jeder Punkt eines unter Wasser getauchten Objectes an einer andern, als seiner wahren Stelle zu sein scheint, und die Abweichung dieses schein-



baren Ortes von dem wahren ist um so beträchtlicher, je nach der Tiefe unter dem Wasser und der Schiefe des Lichtstrahles **RS**, durch welchen der Gegenstand erscheint. Ein ins Wasser getauchter gerader Stab erscheint an der Stelle, in welcher er die Oberfläche des Wassers berührt, eingeknickt zu sein; ein gerader Stab **SRA** erscheint in der gebrochenen Linie **RSb**. Eben so wird ein gebrochener Strahl als gerade erscheinen können. Man kann sich von dieser Thatsache durch ein Ruder überzeugen, wenn man auf einer durchsichtigen Wasserfläche fährt.

Nimmt man statt des Wassers Alcohol, Oel oder Glas, so wird man, wenn die Oberfläche dieser Körper in die Linie **EF** (Fig. 17) fällt, jederzeit wahrnehmen, daß sie sämmtlich das Vermögen besitzen, den Strahl **SR** im Punkte **R** zu brechen. Alcohol bricht ihn stärker als Wasser, Oel stärker als Alcohol, und Glas noch stärker als Oel. Glas würde den Lichtstrahl **SR** nach **Rc** brechen. Die Wirkung, durch welche ein Lichtstrahl auf diese Weise von seinem geraden Wege abgelenkt wird, führt den Namen der Refraction oder Brechung, weil sie den Strahl **SRa** im Punkte **R** in zwei Theile bricht.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß, wenn ein die Luft durchschneidender Lichtstrahl in schräger Richtung auf die Oberfläche eines durchsichtigen, flüssigen oder festen Körpers fällt, dieser Lichtstrahl gegen die Linie **MN** zu gebrochen wird, welche senkrecht auf der Oberfläche **EF** im Punkte **R** steht, und daß die Größe der Refraction oder die Größe des Winkels **aRb** nach der Beschaffenheit des brechenden Körpers verschieden ausfällt. Die Kraft, welche die Wirkung der Refraction in den Körpern hervorbringt, heißt die brechende Kraft oder das Brechungsvermögen dieser Körper, und man schreibt letztern nach der Verschiedenheit der Brechung ein verschiedenes Brechungsvermögen zu.

Leert man hierauf das Gefäß und bringt in den Punkt **a** einen recht hellen Körper, etwa eine kleine blanke Silbermünze, so findet ein Beobachter, der einige Fuße von dem Gefäße entfernt steht, leicht eine Stelle, von welcher aus er durch das Loch die Münze **a** sehen kann. Wird hierauf das Gefäß bis an **EF** mit Wasser gefüllt, so verschwindet die Münze dem Auge des unverrückt stehen gebliebenen Beobachters, und erscheint ihm erst dann wieder, wenn sie von **a** nach **b** zu gerückt wird und in **b** anlangt. Da also der von einer in **b** liegen-

den Münze herkommende Lichtstrahl in das Auge trifft, so muß er in einem Punkte R aus der Oberfläche des Wassers hervorkommen, den man dadurch findet, daß man durch das Auge S und die Oeffnung H die gerade Linie SHR zieht; folglich ist bR die Richtung des Lichtstrahls, durch welche die Münze nach ihrer Refraction in R sichtbar wird. Würde dieser Lichtstrahl über R hinaus verlängert, ohne gebrochen zu werden, so müßte er bh sein, während er gebrochen RH wird. Wenn also ein Lichtstrahl, der durch ein dichtes Medium, wie z. B. Wasser, in schräger Richtung gegen dessen Oberfläche geht, dieses Medium in irgend einem Punkte verläßt und in ein dünneres Medium, z. B. Luft, tritt, so wird er von dem Perpendikel, welches in dem Punkte, in welchem der Lichtstrahl das dichtere Medium verläßt, auf die Oberfläche dieses Mediums gefällt ist, abwärts gebrochen.

Fällt der Lichtstrahl SHR der Kerze auf die Oberfläche EF des Wassers und bricht er sich nach der Richtung Rb dem Lothe MN zu, so heißt der Winkel MRH, den er mit dem Perpendikel einschließt, der Einfallswinkel, und der Winkel NRb, den der gebrochene Strahl mit demselben Lothe einschließt, der Brechungswinkel. HR wird der einfallende, Rb der gebrochene Strahl genannt. Tritt dagegen der Lichtstrahl von der Münze a aus dem Wasser und bricht er sich im Punkte R nach der Richtung Rh, so ist aR der einfallende, Rh der gebrochene Strahl, NRa der Einfallswinkel und MRh der Brechungswinkel.

Tritt daher der Lichtstrahl aus einem dünnern Medium in ein dichteres, wie z. B. aus Luft in Wasser, so ist der Einfallswinkel größer als der Brechungswinkel; tritt dagegen der Lichtstrahl aus dem dichtern Medium in das dünnere, wie z. B. aus Wasser in Luft, so ist der Einfallswinkel kleiner als der Brechungswinkel. Ferner stehen diese beiden Winkel zu einander in der Beziehung, daß, wenn der gebrochene Strahl zum einfallenden wird, auch der einfallende zum gebrochnen werden muß.

§. 29.

Kennt man die Richtung eines in Wasser oder jedes andere brechungsfähige Medium einfallenden Lichtstrahls, so findet man die Richtung des gebrochenen Strahles auf folgende Weise.

Man zeichne auf einem quadratförmigen Brette ABCD (Fig. 18)

einen Kreis MN, mit zwei Durchmessern MN und EF, die lothrecht auf einander und auf den Seiten des Brettes stehen. Das Brett ruht auf einem fest stehenden Fuße P. Dann verfertige man ein dünnes Rohr, welches man in der Richtung eines Halbmessers HR, H'R befestigen kann, oder welches sich um den Mittelpunkt R frei drehen läßt, so daß man es in jede Lage auf dem Kreise bringen kann. Man stelle dann das auf seinem Fuße befestigte Brett in ein gläsernes Gefäß, und fülle dies so weit mit Wasser, daß dessen Oberfläche bis in EF reicht, ohne jedoch das Rohr zu berühren. Bringt man hierauf das Rohr in die Lage MR, welche lothrecht auf die Oberfläche des Wassers ist, und läßt einen Lichtstrahl durch dasselbe hindurchgehen, so sieht man diesen ins Wasser hineingehen und nach N fortrücken, ohne die mindeste Störung in seiner Richtung zu erleiden. Fällt also ein Lichtstrahl senkrecht auf die Oberfläche eines brechungsfähigen Mediums, so erleidet er keine Brechung, wird also von seinem geradlinigen Wege nicht abgelenkt. Bringt man hierauf eine kleine Silbermünze in den Punkt N, so erblickt man diese durch das Rohr MR; die Lichtstrahlen der Münze verlassen also die Wasserfläche in R, und setzen ihren Weg in derselben geraden Linie fort, NRM. Tritt also ein Lichtstrahl senkrecht auf die Oberfläche eines brechungsfähigen Mediums aus diesem Medium heraus, so erleidet er keine Brechung und setzt seinen Weg in derselben geraden Linie fort.

Bringt man das Rohr in die Lage von HR und läßt dann einen Lichtstrahl hindurchfallen, so wird dieser im Punkte R nach der Richtung Rb gebrochen, wo der Brechungswinkel NRb kleiner als der Einfallswinkel MRH ist. Mißt man hierauf mit einem Zirkel die kleinste Entfernung bn des Punktes b vom Lothe RN, verfertigt mit bn als Einheit einen Maßstab, theilt diesen in Zehntel und Hundertel, und mißt dann Hm auf diesem Maßstabe, so findet sich Hm = 1,336 oder beinahe = $1\frac{1}{3}$ der Einheit bn. Wiederholt man diesen Versuch für eine andere Lage des Rohres H'R, wo Rb' der gebrochene Strahl ist, und verfertigt mit der neuen Einheit b'n' einen zweiten Maßstab, so findet sich wieder H'm' = 1,336 der Einheit b'n'. Die Linien Hm und H'm' heißen die Sinus der Einfallswinkel HRM und H'RM, so wie die Linien bn und b'n' die Sinus

der **Brechungswinkel** NRb und NRb'. Hieraus folgt, daß sich für Wasser als brechendes Medium der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels, wie 1,336 zu 1 verhält, welche Richtung auch der einfallende Strahl gegen die Oberfläche des Wassers haben mag. Die optischen Schriftsteller nennen dies Verhältniß das **constante Verhältniß der Sinus.**

Bringt man eine kleine Silbermünze in b, so erblickt man diese durch das Rohr, wenn es die Lage HR hat; bringt man die Münze in b', so sieht man sie durch das Rohr in der Richtung H'R. Kommt also der Lichtstrahl aus dem Wasser, so verhält sich der Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels wie 1 zu 1,336. Da bn und Hm, so wie b'n' und H'm' das Maß der Sinus des Einfalls- und Brechungswinkels sind, so verhalten sich, wenn Licht aus Wasser in Luft tritt, die Sinus der Einfalls- und Brechungswinkel wie 1 zu 1,336.

Macht man diesen Versuch mit verschiedenen Mediis, so erhält man verschiedene Grade der Brechung für dieselben Einfallswinkel; allein das Verhältniß der Sinus der Einfalls- und Brechungswinkel für ein und dasselbe Medium ist immer dasselbe.

Die Zahl 1,336, welche dies Verhältniß für Wasser angibt, heißt das **Brechungsverhältniß** oder der **Brechungsexponent** des Wassers, auch wohl das **Brechungsvermögen** des Wassers.

§. 30.

Die Physiker haben den Brechungsexponent sehr vieler Körper bestimmt, und uns dadurch in den Stand gesetzt, für jeden beliebigen Einfallswinkel auf die Oberfläche eines bestimmten Mediums die Richtung des gebrochenen Lichtstrahles zu bestimmen, mag der einfallende Strahl in das Medium hineingehen oder aus demselben herauskommen. Trifft z. B. ein Lichtstrahl RH (Fig. 18) auf die Oberfläche des Wassers, so findet man die Richtung des gebrochenen Strahles auf folgende Weise: Man errichte im Punkte R, wo der Lichtstrahl auf die Wasserfläche trifft, ein Loth RM auf die Oberfläche des Wassers, und vom Punkte H aus eine Linie Hm lothrecht auf RM. Dann mache man einen Maßstab, worauf Hm die Länge von 1,336 oder $1\frac{1}{3}$ einnimmt. Faßt man dann die Länge 1 dieses Maßstabes zwischen den Zirkel und läßt die eine Zirkelspitze auf dem Bogen NF nach N zu fortgleiten, bis die zweite Zirkelspitze in die Linie NM der-

gestalt trifft, daß die Linie zwischen den Zirkelspitzen senkrecht auf NM steht, so erfährt man den Punkt b, in welchem der gebrochene Strahl den Kreisbogen trifft. Man braucht dann nur Rb zu ziehen, so ist dieses die Richtung des Strahles HR nach der Brechung.

§. 31.

Im Anhange Taf. I. (zweiter Theil) findet sich eine Tabelle, worin die Brechungsexponenten der für die Optik wichtigsten Körper verzeichnet sind.

§. 32.

Da die in dieser Tabelle enthaltenen Körper von sehr verschiedener Dichtigkeit sind, so dürfen die neben ihnen stehenden Zahlen der Brechungsverhältnisse nicht als Maß ihrer absoluten brechenden Kräfte oder als die Brechungsvermögen ihrer Molecule angesehen werden. So rührt z. B. die geringe brechende Kraft des Wasserstoffgases von dem großen Abstande der Molecule dieses Körpers her; betrachtet man sein specifisches Gewicht, so findet sich, daß seine brechende Kraft nicht geringer als bei andern Körpern, sondern daß im Gegentheile seine Molecule die größte brechende Kraft auf das Licht ausüben.

Newton hat gezeigt, daß, wenn man die Molecule der Körper als gleich gewichtig annimmt, das absolute Brechungsvermögen gleich einem Bruche ist, dessen Zähler die Differenz unter dem Quadrate des Brechungsexponenten und der Einheit, dessen Nenner das specifische Gewicht des Körpers ist. Nach diesem Principe ist Taf. II. im Anhange zum zweiten Theile berechnet.

Herschel bemerkte mit Recht, daß, wenn den Lehren der neuern Chemie zufolge die Körper aus einer geschlossenen Zahl Atome bestehen, die nach der Zusammensetzung des Körpers in ihrem Gewichte verschieden sind, das innere Brechungsvermögen der Atome eines gegebenen Mediums dem Produkte aus den in Taf. II. aufgestellten Zahlen in das Atomengewicht gleich sei.

§. 33.

Aus Taf. II. scheint sich das Resultat zu ergeben, daß die Substanzen, welche Flußspathsäure enthalten, das geringste absolute Brechungsvermögen besitzen, während die brennbaren Körper das größte haben. Die große brechende Kraft des Cassiaöls, welches von allen andern Flüssigkeiten oben ansteht und selbst vor dem Diamant hergeht, deutet auf die große Brennbarkeit seiner Bestandtheile hin.

Viertes Capitel.
Reflexion des Lichtes mittelst Prismen und Linsen.
§. 34.

Mit Anwendung des vorhin auseinander gesetzten Brechungsgesetzes ist man im Stande, einen Lichtstrahl bei seinem Durchgange durch ein Medium oder einen beliebig geformten Körper oder auch durch mehre Körper zu verfolgen, wenn man nur die Neigung des einfallenden Strahles gegen den Theil der Oberfläche zu bestimmen weiß, auf welchen der Strahl fällt oder von dem er ausgeht.

Die in der Regel zu optischen Experimenten angewandten Körper, so wie zu den Instrumenten, die durch Lichtbrechung wirken, sind Plangläser, Kugeln und Linsen; die verschiedenen Gestalten dieser Körper sieht man in Fig. 19.

Ein optisches Prisma A ist ein massiver Körper mit zwei ebenen Oberflächen AR und AS, welche brechende Flächen genannt werden. Die Fläche RS hat gleiche Neigung gegen die Brechungsflächen AR und AS, und heißt die Basis des Prisma.

Ein Planglas B ist ein Glas mit zwei parallelen und ebenen Flächen ab und cd.

Eine sphärische Linse C ist eine Kugel, bei der sämmtliche Punkte der Oberfläche von dem Mittelpunkte O gleich weit entfernt sind.

Eine doppelt-convexe (biconvexe) Linse D ist ein massiver Körper von zwei convexen Kugelflächen begrenzt, deren Mittelpunkte auf beiden entgegengesetzten Seiten der Linse liegen. Sind die Halbmesser dieser beiden Kugelflächen gleich, so heißt die Linse gleichförmig convex, im entgegengesetzten Falle ungleichförmig convex.

Eine planconvexe Linse E hat eine convexe und eine ebene Oberfläche.

Eine biconcave Linse F ist ein massiver Körper mit zwei concaven Kugeloberflächen, und sie kann gleichförmig oder ungleichförmig concav sein.

Eine planconcave Linse G hat eine ebene und eine convexe Oberfläche.

Ein Meniskus H ist eine Linse mit einer convexen und einer concaven Oberfläche, die sich jedoch verlängert schneiden. Da bei ihr

die Convexität stärker als die Concavität sein muß, so kann man sie als eine Convexlinse ansehen.

Eine concav-convexe Linse I hat eine concave und eine convexe Oberfläche, die sich aber nicht schneiden, wie weit man sie auch verlängern mag. Bei ihr ist die Concavität vorherrschend; man kann sie deßhalb als eine Concavlinse betrachten.

Bei allen Linsen heißt die gerade Linie MN, die durch die Mittelpunkte ihrer krummen Oberflächen geht oder lothrecht auf ihren ebenen Flächen steht, die Axe der Linse.

In den Zeichnungen sind die Linsen nur in ihren Durchschnitten mit einer durch ihre Axe gehenden Ebene dargestellt. Die convexe Oberfläche einer Linse gleicht der Außenseite, und die concave Oberfläche derselben der Binnenseite eines Uhrglases.

Will man den Fortgang eines Lichtstrahles durch eine Linse betrachten und ihre Eigenthümlichkeiten begreifen, so kann man sich statt der ganzen Linse ihres Durchschnittes bedienen; denn da jeder Durchschnitt einer und derselben Linse durch ihre Axe vollkommen dieselbe Gestalt hat, so gelten die Gesetze eines Lichtstrahles, der durch einen solchen Durchschnitt geht, auch für jeden Durchschnitt, und mithin für die ganze Oberfläche der Linse.

§. 35.

Brechung der Lichtstrahlen durch Prismen.

Prismen kommen in mehren optischen Instrumenten vor und sind ein sehr wesentlicher Theil eines Lichtzersetzungsapparates; man muß deßhalb den Durchgang des Lichtes durch seine brechenden Flächen genau kennen. Es sei ABC (Fig. 20) ein Prisma von Spiegelglas, dessen Brechungsvermögen 1,500 ist; HR sei ein Lichtstrahl, welcher in schräger Richtung auf einen Punkt R der Vorderfläche AB des Prisma fällt. Man beschreibe aus R als Mittelpunkt mit einem Radius HR einen Kreis HMb, ziehe im Punkte R das Loth MRN gegen AB, und Hm senkrecht auf MN; der Winkel HRM ist der Einfallswinkel des Lichtstrahles HR, und Hm dessen Sinus, der in diesem Falle 1,500 sein muß. Hierauf verfertige man einen Maßstab, auf welchem Hm die Länge 1,500 oder $1\frac{1}{2}$ einnimmt, fasse dann auf demselben die Länge 1 zwischen die Zirkelspitzen, setze eine Zirkelspitze irgendwo in die Kreisperipherie etwa b und bewege diese Spitze so lange fort, bis die zweite die Linie RN in einem einzigen Punkte n schnei-

det. Dadurch findet sich der Punkt b, durch welchen der gebrochene Strahl Rb geht und nRb ist der Brechungswinkel, indem sein Sinus bn der Construction nach sich zum Sinus Hm des Einfallswinkels wie 1 zu 1,500 verhält. Dieser so gebrochene Strahl geht dann in gerader Linie fort, bis er die zweite Fläche des Prisma in R' trifft, wo er dann zum zweiten Male gebrochen wird. Um die Richtung dieses ausfahrenden Strahles zu finden, beschreibe man mit H'R' = HR einen Kreis H'b' aus dem Punkte R', ziehe R'N senkrecht auf AC und H'm' senkrecht auf R'N, verfertige dann mit H'm' als Einheit oder 1,000 einen Maßstab, den man in Zehntel und Hundertel theilt. Hierauf fasse man mit dem Zirkel von dem Maßstabe die Länge 1,500 oder $1\frac{1}{2}$ ab, setze die eine Zirkelspitze in die Kreisperipherie nach der Seite R'n' hin ein, und schiebe sie so lange fort, bis die zweite Zirkelspitze die Linie R'n' nur in einem einzigen Punkte trifft, wobei zugleich die auf die Kreisperipherie gesetzte Spitze nach unten zu liegen muß. Zieht man dann R'b', so ist dies die Richtung des ausfahrenden Strahles, denn da H'R'm' der Einfallswinkel für die zweite Brechungsfläche AC und H'm' sein Sinus ist, und da der Construction zufolge der Sinus b'n' des Winkels b'R'n' sich zu H'm' wie 1,500 zu 1 verhält, so ist b'R'n' der Brechungswinkel und R'b' die Richtung des gebrochenen Lichtstrahls.

Denkt man sich den ursprünglichen Strahl HR von einer Kerzenflamme herrührend, so wird ein Auge, welches sich in b' hinter dem Prisma befindet, so daß es den gebrochenen Strahl b'R' auffängt, den Strahl HR in der Richtung b'R'D erhalten und die Kerzenflamme in dieser Richtung erblicken. Der Winkel HED gibt die Abweichung des wirklichen Einfallsstrahls von dem scheinbaren an und wird der Abweichungswinkel genannt.

Bei dem Zeichnen der Fig. 20 hat man dem Lichtstrahle HR bei seinem Einfalle auf das Prisma eine solche Richtung gegeben, daß der gebrochene Strahl RR' im Prisma gleiche Neigung gegen die brechenden Flächen AB und AC hat, oder, was dasselbe ist, daß er parallel zur Basis des Prisma fortgeht. Dadurch wird denn der Einfallswinkel HRB dem Winkel b'R'C gleich, unter welchem der Lichtstrahl zum Prisma herausfährt. Macht man den Winkel HRB kleiner oder größer als in der Figur, so wird man sich überzeugen, daß in dem Falle, für welchen die Figur gezeichnet ist, der Abweichungs-

winkel kleiner ist, als für jedn andern Einfallswinkel. Bringt man daher das Auge in den Punkt b hinter das Prisma und dreht dieses in der Ebene BAC so, daß A bald dem Auge näher, bald von ihm entfernter ist, so findet man leicht eine Lage, worin man die Kerzenflamme H in der Richtung b'D unter dem kleinsten Abweichungswinkel sieht. In dieser Lage des Prisma ist dann der Winkel HRB dem Winkel b'R'C gleich, und RR' parallel zu BC oder lothrecht auf die Linie AF, welche den Brechungswinkel BAC des Prisma in zwei gleiche Theile theilt. Aus der Aehnlichkeit der Dreiecke ergibt sich, daß der Brechungswinkel bRn der Vorderfläche dem Winkel BAF, welcher die Hälfte des Brechungswinkels BAC des Prisma ist, gleich sein muß. *) Nun kennt man aber BAF, folglich auch den Refractionswinkel bRn. Hat man daher den Einfallswinkel HRB durch den genannten Versuch gefunden, so kann man daraus den Brechungsexponenten jedes beliebigen Prisma finden; denn da der Sinus des Brechungswinkels zum Sinus des Einfallswinkels in demselben Verhältnisse steht, wie die Einheit zum Brechungsexponenten, so ist der Brechungsexponent dem Quotienten gleich, den man erhält, wenn man den Sinus des Einfallswinkels durch den Sinus des Brechungswinkels dividirt.

§. 36.

Durch diese sehr leicht ausführbare Methode läßt sich der Brechungsexponent jedes Körpers bestimmen. Ist der Körper ein fester, so verfertigt man aus ihm ein Prisma; ist er aber ein flüssiger Körper, so bringt man ihn in die Oeffnung eines hohlen Prisma ABC (Fig. 21), welches man aus drei Stücken weißen Glases AB, AC und BC verfertigt. Man erhält ein sehr gutes Prisma, wenn man zwei Stücke weißes Glas AB und AC durch ein Stück Wachs F unter irgend einem Winkel BAC mit einander verbindet, und dann in den Winkel A einen Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit bringt, wo dieser durch die Capillarattraction festgehalten wird.

Fällt das Licht auf die Hinterfläche eines Prisma, so kann dies in so schräger Richtung geschehen, daß das Licht von dieser Fläche nicht mehr gebrochen, sondern ganz und gar zurückgeworfen wird. Diese

---

*) Die Linien NR und RR' stehen nämlich lothrecht auf den Schenkeln des Winkels BAF, und schließen daher, einem bekannten Satze der Geometrie zufolge, denselben Winkel mit einander ein, welchen BA und FA einschließen.

Eigenschaft des Lichtes ist zu merkwürdig, als daß sie nicht verdiente, in allen ihren Einzelheiten mitgetheilt zu werden.

§. 37.

Totale Reflexion des Lichtes von der brechenden Hinterfläche eines Prisma.

Es ist schon früherhin gesagt worden, daß Licht, welches auf die Vorder- oder Hinterfläche eines durchsichtigen Körpers fällt, einem Theile nach zurückgeworfen wird, während der andere, und zwar der bei weitem größte Theil bloß hindurchgeht. Man nennt dann das Licht ein theilweise reflectirtes. Fällt indeß das Licht sehr schräge auf die Hinterfläche eines durchsichtigen Körpers, so wird es in seiner Gesammtheit zurückgeworfen, und kein einziger Strahl bricht sich oder geht durch diese Fläche hindurch. Es sei **ABC** (Fig. 22) ein Glasprisma mit dem Brechungsexponenten 1,500 oder $1\frac{1}{2}$, und ein Lichtstrahl **Gk** werde in **k** von der Vorderfläche **BA** so gebrochen, daß er in der sehr schrägen Richtung **HR** auf den Punkt **R** der Hinterfläche trifft. Man beschreibe aus dem Punkte **R** als Mittelpunkte mit einem beliebigen Halbmesser **HR** einen Kreis **HFNEM**, verfertige dann, um den zu **HR** gehörigen gebrochenen Strahl zu finden, einen Maßstab, dessen Einheit **Hm** ist, greife mit dem Zirkel die Länge 1,500 oder $1\frac{1}{2}$ auf diesem Maßstabe ab, setze die eine Zirkelspitze auf den Bogen **EN**, und versuche es einen Punkt zu finden, von welchem aus die andere Zirkelspitze den Radius **RN** nur in einem einzigen Punkte schneide. Man wird sich dann bald überzeugen, daß es keinen solchen Punkt gibt, daß sogar die Länge 1,500 größer als **ER**, der Sinus des rechten Winkels **ERN** ist. Wäre die Länge 1,500, die man mit dem Zirkel abgegriffen hat, kleiner als **ER** gewesen, so würde sich der Lichtstrahl in **R** haben brechen können; da es aber keinen Brechungswinkel gibt, dessen Sinus 1,500 wäre, so kann auch der Lichtstrahl nicht aus dem Prisma herausgehen, sondern er wird im Punkte **R** mit seiner ganzen Stärke zurückgeworfen in einer solchen Richtung, daß der Reflexionswinkel **MRS** dem Einfallswinkel **MRH** gleich ist. Zeichnet man die Figur 22 so, daß der einfallende Strahl **HR** in verschiedene Lagen zwischen **MR** und **RF** kommt, so wird der gebrochene Strahl verschiedene Lagen zwischen **RN** und **RE** einnehmen. Der Einfallsstrahl kann eine solche Lage gegen **HR** zu bekommen, daß der gebrochene Strahl gerade in **RE** fällt, und dieser Fall tritt ein, wenn eine Länge von 1,500 des Maßstabes, dessen Einheit **Hm** ist, dem Halb-

messer RE gleich ist. Fällt dann der Lichtstrahl in eine beliebige Richtung zwischen diese Linie und zwischen FR, so ist keine Brechung mehr möglich, sondern der einfallende Strahl wird seiner ganzen Stärke nach reflectirt. Bei diesen Versuchen findet sich, daß der Sinus des Einfallswinkels auf den Punkt R, für welchen das Licht anfängt in seiner ganzen Stärke reflectirt zu werden, $= \frac{1}{1{,}500} = 0{,}666$ oder $\frac{2}{3}$ ist, wenn das Prisma aus Spiegelglas besteht, und zu diesem Sinus gehört ein Winkel von 41° 48′.

Man kann den Uebergang der partiellen Lichtreflexion zu den totalen recht gut wahrnehmen, wenn man eine Seite eines Prisma ABC (Fig. 20), etwa AC, dem Lichte des Himmelsgewölbes oder bei der Nacht dem von einem großen weißen Papierbogen reflectirten Lichte entgegenhält. Befindet sich dann das Auge hinter der zweiten Seite AB des Prisma und betrachtet das von der Basis BC des Prisma reflectirte Bild des Himmels oder des Papierblattes, so wird man ein schwaches von der partiellen Reflexion hervorgebrachtes Licht wahrnehmen, wenn der Einfallswinkel auf BC kleiner als 41° 48′ ist; dreht man aber das Prisma, so daß die Strahlen immer schräger einfallen, so verwandelt sich das schwache Licht plötzlich in ein helles, welches von dem schwachen Lichte durch eine farbige Franse geschieden ist, welche die Trennung der beiden Reflexionen bei einem Winkel von 41° 48′ bezeichnet. Bei allen Einfallswinkeln indeß, die größer als 41° 48′ sind, findet eine totale Reflexion statt.

§. 38.

Lichtbrechung durch Plangläser.

Es sei MN (Fig. 23) der Durchschnitt eines Planglases mit parallelen Seitenflächen, und AB ein Lichtstrahl, welcher im Punkte B auf die Vorderfläche dieses Glases fällt und nach der Richtung BC gebrochen wird. Er wird dann bei seinem Ausgange aus der Hinterfläche im Punkte C abermals gebrochen und zwar in eine mit AB parallele Richtung CD. Für das in D befindliche Auge scheint dann der Lichtstrahl aus dem Punkte a nach der rückwärts verlängerten Richtung DC zu kommen, wo der Punkt a unter dem Punkte A liegt, von welchem der Lichtstrahl wirklich ausgeht. Man überzeugt sich von der Richtigkeit dieser Behauptung, wenn man nach der früherhin gegebenen Methode die Figur zeichnet. Uebrigens überzeugt man sich

auch leicht davon, wenn man den gebrochenen Strahl zum einfallenden macht und ihn nach der entgegengesetzten Richtung gehen läßt, wodurch denn der einfallende Strahl zum gebrochnen wird; denn da der gebrochene Strahl **BC** mit beiden Flächen des Planglases gleiche Winkel einschließt, so wird er auch in **B** und **C** gleich stark gebrochen, wenn man sich denselben nach entgegengesetzten Richtungen gehend denkt; deßhalb müssen dann auch die Winkel, welche die Strahlen **BA** und **CD** mit den beiden brechenden Flächen einschließen, gleich sein, wodurch die Strahlen vor und nach der Brechung parallel werden.

Fiele ein zweiter Strahl **A′B′** parallel mit **AB** in den Punkt **B′**, so wird auch dieser dieselbe Brechung in **B′** und **C′** erleiden, also in einer zu **CD** parallelen Richtung **C′D′** ausfahren, und es wird in **D′** den Anschein haben, als käme er in gerader Linie von **a′**. Fallen folglich Parallelstrahlen auf ein Planglas, so sind sie auch noch nach ihrem Durchgange durch dasselbe parallel.

§. 39.

Kommen aus einem Punkte **A** (Fig. 24) divergirende Strahlen **AB** und **AB′** auf ein Planglas **MN**, so werden sie von der Vorderfläche nach den Richtungen **BC** und **B′C′** und von der Hinterfläche nach den Richtungen **CD** und **C′D′** gebrochen. Verlängert man **CB** und **C′B′** rückwärts, so schneiden sich diese Linien in einem Punkte **a**, der weiter vom Glase entfernt ist als **A**. Stellt man sich daher unter **BB′** die Oberfläche eines stillstehenden Wassers vor, so wird ein Auge im Wasser den Punkt **A** in **a** erblicken, indem die Divergenz der Strahlen **BC** und **B′C′** durch die von der Fläche **BB′** erlittene Brechung verkleinert ist. Werden aber die Strahlen **BC** und **B′C′** zum zweiten Male gebrochen, wie dies bei einem Planglase der Fall ist, so schneiden sich die Strahlen **DC** und **D′C′** rückwärts verlängert in **b**, und ein in **A** befindliches Object scheint sich dem Glase genähert zu haben, indem die beiden Brechungen die Divergenz der Strahlen **CD** und **C′D′**, durch welche das Object gesehen wird, vergrößert haben. Ein Planglas vermindert folglich den Abstand des Divergenzpunktes divergirender Strahlen vom Glase.

Wären **DC** und **D′C′** zwei im Punkte **b** convergirende Lichtstrahlen, so werden sie nach ihrer Brechung durch beide Flächen des Planglases in **A** convergiren. Ein Planglas entfernt folglich den Convergenzpunkt convergirender Strahlen.

Sind die beiden Flächen RB' und CC beide gleichförmig krumm, die eine concav und die andere convex, so werden sie fast ganz so auf das Licht wirken wie ein Planglas, wenn die Convex- und Concavfläche in einem solchen Verhältnisse zu einander stehen, daß die Strahlen BA und CD auf jeder Fläche gleiche Einfallswinkel bilden; dieses ist aber nicht der Fall, wenn beide krumme Flächen dasselbe Centrum haben, falls nicht etwa dieses Centrum zugleich der strahlende Punkt A ist. Aus diesem Grunde bedient man sich zu Fenstern und Uhrgläsern der Gläser mit parallelen Flächen, weil sie die Lage und Gestalt der durch sie gesehenen Gegenstände sehr wenig verändern.

§. 40.

Brechung des Lichtes durch krumme Flächen.

Durch den Gedanken, daß ein einziger Lichtstrahl aus einer unzähligen Menge von Lichtmoleculen bestehen und daß ein solches Molecule unwahrnehmbar klein sei, wird man gewiß hinlänglich überzeugt, daß es gestattet sei, den kleinen Theil einer krummen Oberfläche, auf welchen ein solches Lufttheilchen fällt und von dem es gebrochen ist, als oben anzusehen. Bekanntlich ist die Fläche eines völlig ruhigen Meeres eine sphärische Fläche, deren Halbmesser der Halbmesser der Erde, also über 860 deutsche Meilen beträgt; und dennoch ist eine Quadratruthe dieses Meeres, in der man nicht die mindeste Krümmung wahrzunehmen im Stande ist, verhältnißmäßig viel größer gegen den Halbmesser der Erde, als der kleine von einem Lichtstrahle eingenommene Raum einer Linse gegen den Halbmesser dieser Linse. Da nun in der Mathematik gezeigt wird, daß eine gerade Linie, welche eine krumme Linie in irgend einem Punkte berührt, mit einem unendlich kleinen Theile dieser krummen Linie als zusammenfallend angesehen werden müsse, so wird man, wenn ein Lichtstrahl AB (Fig. 25) in den Punkt B einer krummen brechenden Fläche fällt, den Winkel ABD, welchen der Lichtstrahl AB mit einem auf den Punkt B der Berührungslinie MN gezogenen Lothe einschließt, als den Einfallswinkel ansehen müssen. Bei sämmtlichen Kugelflächen, wie dies die Flächen der Linsen sind, steht immer die Tangente MN lothrecht auf dem Radius CB der Fläche. Bei Kugelflächen hat man daher mit der Tangente nichts zu schaffen; man braucht nur durch den Einfallspunkt B und den Mittelpunkt der Kugel eine gerade Linie CD zu ziehen, so ist dies die Linie, von der man den Einfallswinkel anrechnen muß.

§. 41.

Brechung des Lichtes durch Kugeln.

Es sei **MN** (Fig. 26) der Durchschnitt einer Glaskugel, deren Mittelpunkt **C** sein soll; das Brechungsvermögen sei 1,500. **HR** und **H'R'** sind Parallelstrahlen, die in gleichen Entfernungen von der Axe **GCF** auf die Oberfläche der Kugel fallen. Um die Richtung des einfallenden Strahles **HR** nach seiner Brechung zu erfahren, beschreibe man um den Mittelpunkt **R** den Kreis **HDb**, ziehe durch **C** und **R** die gerade Linie **CRD**, welche im Punkte **R** senkrecht auf der Kugeloberfläche steht, und fälle aus **H** das Loth **Hm** auf **DR**. Hierauf suche man nach der früher aufgestellten Methode den Punkt **b** dergestalt, daß der Sinus **bn** des Brechungswinkels **bRC** die Einheit eines Maßstabes ist, auf welchem **Hm** die Länge 1,500 oder $1\frac{1}{2}$ einnimmt, und ziehe durch **b** und **R** die gerade Linie **Rr**, so ist dieses die Richtung des von der Vorderfläche gebrochenen Strahles. Auf gleiche Weise findet man **R'r'** als Richtung des Strahles **H'R'** nach seiner Brechung von der Vorderfläche der Kugel.

Verlängert man die Strahlen **Rr** und **R'r'**, so schneiden sie die Axe im Punkte **E**. Dieser Punkt ist der Brennpunkt für Parallelstrahlen, die von einer einzigen convexen Oberfläche **R'PR** gebrochen werden; die Brennweite **PE** findet sich nach folgender Regel:

Man dividire den Brechungsexponent durch die Größe, um welche dieser Exponent die Einheit übertrifft; der Quotient ist die Hauptbrennweite **PE** für den Radius der Kugeloberfläche als Einheit (**CR** = 1). Ist **CR** in Zollen oder Centimetern gegeben, so muß man obigen Quotienten mit der Anzahl dieser Zolle oder Centimeter multipliciren. Ist die brechende Fläche von Glas, so ist die Brennweite **PE** dem dreifachen Radius **CR** gleich.

Um den Strahl bei seinem Durchgange durch die Hinterfläche zu beobachten, beschreibe man nun den Punkt **r** als Mittelpunkt und mit einem Halbmesser = **RH** einen Kreis **D'b'h'** und suche nach der obigen Methode in diesem Kreise einen Punkt **b'** so auf, daß der Sinus **b'n'** des Refractionswinkels **b'rn'** die Länge von 1,500 oder $1\frac{1}{2}$ auf einem Maßstabe erhalte, dessen Einheit der Sinus **hm** des Einfallswinkels ist; dann ist **rb'F** der von der Hinterfläche gebrochene Strahl. Eben so findet sich **r'F** als gebrochener Strahl zum Einfallsstrahle **R'r'** gehörig, indem **F** der Punkt ist, in welchem **rb'** die Axe

GE schneidet. Der Punkt F ist mithin der Brennpunkt paralleler Lichtstrahlen, die durch die Glaskugel MN gehen.

Die bloße Betrachtung der Figur zeigt, daß wenn divergirende Strahlen auf die Punkte R und R′ fallen, ihr Brennpunkt in der Axe GF, aber weiter von der Kugel entfernt liegt als der Punkt F, und daß der Brennpunkt sich von der Kugel entfernt, so wie der strahlende Punkt ihr näher rückt. Befindet sich der strahlende Punkt in demselben Abstande vor der Kugel, in welchem F hinter ihr liegt, so werden die Strahlen nach parallelen Richtungen gebrochen und dann liegt der Brennpunkt in unendlicher Entfernung. Fallen also aus F die divergirenden Strahlen Fr und Fr′ auf die Kugel, so bricht diese sie nach den parallelen Richtungen RH und R′H′.

Fallen convergirende Strahlen in die Punkte R und R′ ein, so muß ihr Brennpunkt in einem Punkte der Axe GF, und zwar näher an der Kugel als ihr Hauptbrennpunkt F liegen. Die Convergenz der Lichtstrahlen kann dann so groß sein, daß ihr Brennpunkt in die Kugel fällt. Will man sich von diesen Wahrheiten genauer überzeugen, so zeichne man nach der früher gegebenen Methode Lichtstrahlen, die unter verschiedenen Graden der Divergenz und Convergenz auf die Kugel treffen.

§. 42.

Damit man sich einen Begriff machen könne von der Vereinigungskraft paralleler Lichtstrahlen in einen Brennpunkt einer Kugel, die aus Substanzen mit verschiedenen Brechungsvermögen besteht, wollen wir den Halbmesser der Kugel = 1 Zoll setzen; sucht man dann den Brennpunkt wie in (Fig. 26), so findet er sich für folgende Substanzen:

Substanzen.	Brechungsexponent.	Abstand FQ des Brennpunktes von der Kugel.
Tabasheer *)	1,11145	4 Zoll
Wasser	1,3358	1 =
Glas	1,5000	½ =
Zirkon	2,000	0 =

Für Tabasheer beträgt also der Abstand FQ 4 Zoll, für Wasser 1 Zoll, für Glas ½ Zoll und für Zirkon 0; für letztern Körper fallen also r und F mit Q zusammen und es findet bloß eine Brechung in R statt.

*) Eine kieserdige Substanz aus dem Bambusrohre gewonnen.

Ist der Brechungsexponent größer als 2, wie z. B. beim Diamant und mehren andern Körpern, so schneidet der Lichtstrahl **Rr** die Axe in einem Punkte zwischen **C** und **Q**. In gewissen Fällen wird der Strahl **Rr** im Punkte **r** gänzlich reflectirt gegen einen andern Theil der Kugel, von welchem er dann wieder vollständig zurückgeworfen und so in dem Umfange der Kugel herumgetragen wird, ohne sie zu verlassen, bis er gänzlich absorbirt ist. Und da dieses für jeden Durchschnitt der Kugel gilt, so wird jeder Lichtstrahl, welcher in einem von der Axe **GF** gleich weit abstehenden Kreise auffällt, diese Reflexion erleiden.

Den Abstand des Brennpunktes **F** vom Mittelpunkte der Kugel findet man noch folgender Regel: man dividire den Brechungsexponent durch die doppelte Differenz zwischen dem Brechungsexponenten und der Einheit; der Quotient ist die Entfernung **CF** in Kugelhalbmessern. Ist also der Halbmesser der Kugel 1 Zoll; ihr Brechungsexponent 1,500, so ist $CF = 1\frac{1}{2}$ Zoll und $QF = \frac{1}{2}$ Zoll.

§. 43.

Brechung des Lichtes durch concave und convexe Flächen.

Die 26ste Figur zeigt die Art und Weise, wie man den Lauf eines Lichtstrahles verfolgen könne, der entweder wie **HR** in die convexe Fläche eines dichtern Mediums, oder wie **Rr** in die concave Fläche eines dünnern Mediums eintritt und die convexe eines dichtern verläßt.

Fällt der Lichtstrahl auf die concave Fläche eines dichtern Mediums, oder verläßt er eine solche Fläche, indem er in die convexe eines dünnern Mediums eintritt, so stellt Figur 27 die Methode dar, wie man seinen Lauf verfolgen könne. Hier ist **MN** ein dichtes Medium (z. B. Glas) mit zwei concaven Oberflächen, also eine dicke Concavlinse. **C** und **C'** sind die Mittelpunkte der beiden krummen Flächen, **CC'** ist die Axe und **HR** und **H'R'** sind Lichtstrahlen, die parallel auf die Vorderfläche einfallen. **CR** steht lothrecht auf dieser Fläche im Punkte **R**, folglich ist **HRC** der Einfallswinkel, und wenn man mit **Rh** als Radius einen Kreis um **R** beschreibt, **hm** der Sinus dieses Winkels. Dann fasse man auf einem Maßstabe, worauf **hm** = 1,500 ist, die Länge 1 zwischen dem Zirkel und suche auf dem Kreise einen Punkt **b** auf, so gelegen, daß, wenn die eine Zirkelspitze in **b** steht, die andere das Loth **RC** nur in einem einzigen Punkte

trifft. Die durch diesen Punkt gezogene gerade Linie **Rb** ist dann der gebrochene Strahl. Verlängert man ihn rückwärts, so schneidet er die Axe im Punkte **F.** Desgleichen wird auch der Strahl **H'R'** nach einer Richtung **R'r'** gebrochen werden, als käme er aus dem Punkte **F.** Dieser Punkt **F** ist folglich der virtuelle Brennpunkt der Parallelstrahlen, die von einer einzigen concaven Oberfläche gebrochen werden; man findet ihn nach folgender Regel: Man dividire den Brechungsexponent durch die Differenz zwischen dem Brechungsexponenten und der Einheit; der Quotient gibt die Hauptbrennweite **FE** in Theilen des als Einheit angenommenen Radius der Oberfläche. Ist der Radius also in Zollen gegeben, so muß man den genannten Quotient mit dieser Anzahl von Zollen multipliciren, um **FE** gleichfalls in Zollen zu erhalten.

Sucht man auf gleiche Weise den gebrochenen Strahl **rb** nach seinem Durchgange durch die Hinterfläche **rr** der Linse, und verlängert ihn dann rückwärts, so schneidet er die Axe in einem Punkte nahe bei **C**, dergestalt, daß die schon divergirenden Strahlen **Rr** und **R'r'** durch die Hinterfläche noch mehr divergirend gemacht werden. **C** wird dann der Brennpunkt der Linse **MN.**

§. 44.

Brechung des Lichtes durch Converlinsen.

P a r a l l e l e S t r a h l e n. Lichtstrahlen, welche auf eine Converlinse parallel zur Axe einfallen, werden ganz auf dieselbe Weise gebrochen, wie die auf eine Kugel einfallenden Strahlen; man findet den gebrochenen Strahl folglich ganz durch dasselbe Verfahren. Da indeß die Kugel nach jeder Richtung eine Axe hat, so ist auch jeder beliebig einfallende Strahl parallel mit einer Axe der Kugel; eine Linse hat dagegen nur eine Axe, es werden daher mehr einfallende Strahlen schräg gegen diese Axe gerichtet sein. Jedenfalls aber werden, sowohl bei der Linse, als bei der Kugel, alle die Strahlen, welche längs der Axe einfallen, gar nicht gebrochen, weil die Axe immer lothrecht auf der brechenden Fläche steht.

Fallen die Parallelstrahlen **RL, RC, RL** (Fig. 28) auf die Biconverlinse **LL** parallel mit ihrer Axe **RF** ein, so wird der Strahl **RC**, welcher in der Richtung der Axe liegt, ohne die mindeste Brechung durch die Linse hindurchgehen; die übrigen Strahlen werden dagegen von jeder Fläche der Linse gebrochen werden, und man findet

nach der schon oft erwähnten Methode, daß die Strahlen RL und RL nach ihrer Brechung die Richtungen LF und LF annehmen und sich in einem Punkte F der Axe schneiden.

Fallen die Parallelstrahlen schief gegen die Axe ein, wie SL, SL, TL, TL, so werden die Strahlen SC, TC, die durch den Mittelpunkt der Linse gehen, von jeder Fläche gebrochen; da indeß die beiden Brechungen gleich sind und nach entgegengesetzten Richtungen gehen, so müssen die ausfahrenden Strahlen Cf und Cf′ parallel mit SC und TC sein. In Rücksicht der schrägen Lichtstrahlen SL, SL kann man daher die durch den Mittelpunkt der Linse gehende Linie Sf als die Richtung des gebrochenen Strahles SC ansehen. Durch die bekannte Methode findet man, daß SL, SL in denselben Punkt f des durch den Mittelpunkt gehenden Strahles Sf gebrochen werden. Eben so vereinigen sich TL, TL nach der Brechung im Punkte f′. Darf man die Dicke der Linse wegen ihrer Kleinheit außer Acht lassen, so findet man die Brennweite FC oder fC nach folgender Regel:

Man dividire das doppelte Produkt aus den Halbmessern der beiden Flächen durch die Summe dieser beiden Halbmesser.

Ist die Linse gleichförmig convex, so ist die Brennweite dem Halbmesser der Linse gleich.

Für planconvexe Linsen gelten folgende beide Regeln:

Fallen die parallelen Strahlen auf die convexe Seite der Linse, so erhält man die Brennweite, wenn man vom doppelten Halbmesser der Convexfläche zwei Drittheile der Dicke der Linse abzieht.

Fallen die Parallelstrahlen auf die Planfläche, so ist die Brennweite dem doppelten Halbmesser gleich.

§. 45.

Divergirende Lichtstrahlen. Aus dem Punkte R fallen divergirende Lichtstrahlen RL, RL (Fig. 29) auf die Biconvexlinse LL; liegt dann der Hauptbrennpunkt der Linse in O und O′, so fällt ihr Brennpunkt F über O hinaus. Nähert sich R der Linse, so rückt F von ihr weg; kommt R im Punkte P an, welcher um die doppelte Hauptbrennweite CO von C entfernt ist, so fällt F in den Punkt P′, und dann liegt P′ eben so weit hinter der Linse, als P vor ihr. Kommt R in O′ an, so liegt der Brennpunkt F unendlich weit von der Linse entfernt und die ausfahrenden Strahlen werden parallel; liegt R zwischen O′ und C, so divergiren die gebrochenen

Strahlen und haben einen virtuellen Brennpunkt vor der Linse. Für Glaslinsen findet man den Brennpunkt nach folgender Regel:

Man multiplicire das doppelte Produkt der Halbmesser beider Linsenflächen mit dem Abstande **RC** des strahlenden Punktes von der Linse; ferner multiplicire man die Summe beider Halbmesser mit eben diesem Abstande **RC** und ziehe davon das doppelte Produkt beider Halbmesser ab. Dividirt man hierauf die erste der erhaltenen Zahlen durch die zweite, so gibt der Quotient die verlangte Brennweite **CF**.

Für eine gleichförmig convexe Linse gilt folgende Regel:

Man dividire das Produkt aus dem Abstande **RC** des strahlenden Punktes von der Linse in den Halbmesser der Linse durch die Differenz zwischen diesem Abstande und dem Halbmesser; der Quotient ist die verlangte Brennweite **CF**.

Ist die Linse planconvex, so dividire man das doppelte Produkt aus dem Abstande des strahlenden Punktes von der Linse in den Halbmesser der Linse durch die Differenz zwischen diesem Abstande und dem doppelten Halbmesser; der Quotient gibt die gesuchte Brennweite.

§. 46.

Convergirende Strahlen. Die Lichtstrahlen **RL**, **RL** (Fig. 30) convergiren in dem Punkte **f** und fallen auf die Convexlinse **LL**; sie werden dann so gebrochen, daß sie in einem Punkte **F** convergiren, der näher an der Linse liegt als ihr Hauptbrennpunkt **O**. So wie sich dann der Convergenzpunkt **f** von der Linse entfernt, so entfernt sich auch **F** von ihr gegen **O** zu und langt in **O** an, wenn **f** in unendlicher Entfernung liegt. Nähert sich **f** der Linse, so rückt auch **F** ihr näher. Man findet den Brennpunkt **F** nach folgender Regel:

Man multiplicire das doppelte Produkt der beiden Halbmesser der Linsenflächen mit dem Abstande **fC** des Convergenzpunktes von der Linse; hierauf multiplicire man die Summe der beiden Halbmesser mit demselben Abstande **fC** und addire dazu das doppelte Produkt beider Halbmesser. Wird dann die erstere Zahl durch die letztere dividirt, so ist der Quotient die gewünschte Brennweite **CF**.

Ist die Linse gleichförmig convex, so multiplicire man den Abstand **Cf** des Convergenzpunktes von der Linse mit dem Linsenhalbmesser und dividire dieses Produkt durch die Summe dieses Abstandes und des

Halbmessers, so hat man die gesuchte Brennweite **CF** in dem Quotient.

Bei einer planconvexen Linse dividire man das doppelte Produkt aus dem Abstande **fC** und dem Halbmesser durch die Summe dieses Abstandes und des doppelten Halbmessers, so gibt der Quotient gleichfalls die verlangte Brennweite **FC**.

§. 47.

Lichtbrechung durch Biconcavlinsen.

Es sei **LL** (Fig. 31) eine Biconcavlinse, auf welche die Parallelstrahlen **RL**, **RL** fallen; diese werden nach ihrer Brechung in **Lr** und **Lr** divergiren, als kämen sie aus einem vor der Linse liegenden virtuellen Brennpunkte **F** her. Es wird dann **FC** eben so gefunden, wie bei convexen Linsen.

§. 48.

Divergirende Strahlen. Fallen auf die Linse **LL** (Fig. 22) die aus **R** divergirenden Lichtstrahlen **RL**, **RL**, so werden sie in den Richtungen **Lr**, **Lr** gebrochen, als divergirten sie aus einem Punkt **F**, der weiter von der Linse abliegt, als der Hauptbrennpunkt **O**. Man findet die Brennweite **FC** nach folgender Regel:

Man multiplicire das doppelte Produkt der Halbmesser mit dem Abstande **RC** des Divergenzpunktes von der Linse; eben so multiplicire man die Summe der Halbmesser mit dem Abstande **RC** und addire das doppelte Produkt der Halbmesser hinzu. Dann gibt die erstere Zahl durch die zweite dividirt die Brennweite.

Für eine gleichförmig concave Linse richte man sich nach folgender Regel: Man multiplicire den Abstand des Divergenzpunktes mit dem Halbmesser, und dividire das Produkt durch die Summe dieses Abstandes und des Halbmessers; der Quotient gibt die verlangte Brennweite.

Bei einer planconvexen Linse hat man nachstehende Regel zu befolgen: Wird der Abstand des Divergenzpunktes mit dem Halbmesser multiplicirt und das Produkt durch die Summe dieses Abstandes und des doppelten Halbmessers dividirt, so hat man in dem Quotient die gewünschte Brennweite.

§. 49.

Convergirende Strahlen. Auf die Concavlinse **LL** (Fig. 33) fallen Lichtstrahlen **RL**, **RL**, welche in dem Punkte **f** hinter der

Linse convergiren; diese werden von der Linse so gebrochen, als kämen sie aus einem virtuellen Brennpunkte **F** von der Linse her. Den Abstand **FC** kann man nach der für Convexlinsen gegebenen Regel bestimmen. Ist die Linse biconcav, so findet man für convergirende Strahlen die Brennweite **FC** gerade so, wie bei divergirenden Strahlen für Biconvexlinsen. Ist die Linse planconcav, so hat man die Regel zu befolgen, nach welcher man die Brennweite divergirender Strahlen bei einer Planconvexlinse fand.

§. 50.

Brechung des Lichtes durch Menisken und Concavconvexlinsen.

Der Meniskus bricht im Allgemeinen parallele, divergirende und convergirende Lichtstrahlen ganz so, wie eine Convexlinse von derselben Brennweite, und eine Concavconvexlinse gerade so, wie eine Concavlinse von derselben Brennweite.

Die Brennweite eines Meniskus für parallel einfallende Strahlen ist gleich dem Quotienten, den man erhält, wenn man das doppelte Produkt der Halbmesser durch die Differenz der Halbmesser dividirt.

Die Brennweite eines Meniskus für divergirende Strahlen findet sich nach folgender Regel:

Man multiplicire erstlich den doppelten Abstand des Divergenzpunktes mit dem Produkte beider Halbmesser, und hierauf die Differenz beider Halbmesser mit dem Abstande des Divergenzpunktes; dividirt man dann die letztere Zahl, nachdem man sie zuvor noch um das doppelte Produkt der Halbmesser vermehrt hat, in die erstere, so gibt der Quotient die gewünschte Brennweite.

Ganz so findet sich die Brennweite für convergirende Lichtstrahlen.

Die beiden vorstehenden Regeln finden auch bei Concavconvexlinsen Anwendung; bei ihnen ist aber der Brennpunkt virtuell und liegt vor der Linse.

Sämmtliche im Vorigen aufgestellte Regeln und Bemerkungen lassen sich geometrisch beweisen. Wer indeß keine mathematischen Kenntnisse besitzt, überzeugt sich durch den bloßen Anblick von der Richtigkeit derselben, wenn er die Linsen nach einem größern Maßstabe zeichnet und die Richtungen der gebrochenen Strahlen nach den obigen Methoden bestimmt. Auch rathen wir ihm, diese Regeln und Bemerkungen einigen mit Linsen selbst angestellten Versuchen zu unterwerfen.

Fünftes Capitel.
Erzeugung von Bildern durch Linsen. Eigenschaft der Linsen, die Objecte vergrößert darzustellen.

§. 51.

Wir haben schon im zweiten Capitel das Princip auseinander gesetzt, nach welchem sich Bilder erzeugen durch kleine Oeffnungen und durch das Zusammenlaufen der Lichtstrahlen in Brennpunkte, wenn man sie von Spiegeln zurückstrahlen läßt. Die Linsen erzeugen ganz auf dieselbe Weise Bilder, wie die Spiegel, und jedes von einer Convexlinse hervorgebrachte Bild hat gegen das Object, welches es abbildet, eine umgekehrte Lage. Auch verhält sich seine Größe zur Größe des Objectes, wie sein Abstand von der Linse zum Abstande des Objectes von der Linse.

Es sei MN (Fig .34) ein vor der Convexlinse LL befindliches Object, welches von jedem seiner Punkte Strahlen nach allen Richtungen hinwirft. Diejenigen dieser Strahlen, die auf die Linse LL fallen, werden gebrochen und vereinigen sich hinter der Linse in Punkten, deren Abstand man nach den Regeln des vorigen Capitels bestimmen kann. Da der Brennpunkt, in welchem sich jeder Punkt des Objectes abbildet, auf einer von diesem Punkte aus durch den Mittelpunkt der Linse gezogenen geraden Linie liegt, so wird der obere Punkt M des Objectes sich irgendwo in der Linie MCm, und der untere Punkt N irgendwo in der Linie NCn abbilden, d. h. sie liegen in den Punkten m und n, in denen die gebrochenen Strahlen Lm, Lm, Ln, Ln die Linien Mm und Nn schneiden. m repräsentirt folglich den obern Punkt M des Objectes MN, und n den untern Punkt desselben. Auch ist klar, daß in den Dreiecken MCN und mCn sich die Größe MN des Objectes zur Größe mn des Bildes verhält, wie der Abstand CM des Objectes von der Linse zum Abstande Cm des Bildes von der Linse.

Hierdurch setzt uns dann eine Linse in den Stand, einen Gegenstand in verlangter Entfernung hinter der Linse, die größer ist als der Abstand des Hauptbrennpunktes, abzubilden, und diesem Bilde die vorgeschriebene Größe und Proportion zu geben. Soll das Bild groß werden, so muß man das Object der Linse nähern, und soll es klein werden, so muß das Object weiter von der Linse entfernt werden.

Diese Effecte fallen dann außerdem mit Linsen von verschiedenen Brennweiten sehr verschieden aus.

Bei Linsen mit derselben Brennweite kann man die Helligkeit des Bildes dadurch vermehren, daß man die Linse größer nimmt, ihr mehr Fläche gibt. Hat eine Linse 12 Quadratzoll Oberfläche, so wird sie offenbar zwei Mal so viel Lichtstrahlen von jedem Punkte des Objectes auffangen, als wenn sie nur 6 Quadratzoll Oberfläche hätte. Kann man also die Helligkeit eines Objectes nicht durch Erleuchtung vergrößern, so kann man die Helligkeit des Bildes dadurch vermehren, daß man größere Linsen nimmt.

§. 52.

Wir haben bisher angenommen, das Bild **mn** werde auf weißem Papiere, auf Gyps oder eine andere geglättete weiße Fläche, auf welcher sich ein wahrnehmbares Bild bildet, aufgefangen. Fängt man aber dasselbe auf transparentem Papiere oder auf einer Glastafel auf, deren eine Seite schwach mit abgerahmter Milch gefärbt ist, und bringt das Auge 6 bis 8 Zoll oder auch noch weiter hinter diesen halbdurchsichtigen Spiegel, welcher vor **mn** aufgestellt ist, so erblickt man das umgekehrte Bild **mn** eben so deutlich als vorher. Läßt man hierauf das Auge in dieser Lage und nimmt die transparente Tafel fort, so sieht man das Bild in der Luft viel heller als zuvor. Der Grund dieser Erscheinung ist leicht zu begreifen; die Strahlen nämlich, welche durch ihre Convergenz die Punkte **m** und **n** des Objectes **mn** bilden und sich in **m** und **n** schneiden, divergiren von diesen Punkten aus eben so, als wenn sie von einem wirklichen Objecte herkämen, welches eben so groß und hell wäre als **mn**. Man kann hiernach das Bild eines Objectes als ein neues Object ansehen; stellte man daher eine zweite Linse hinter dem Bilde eines Objectes auf, so würde sich von dem ersten Bilde **mn** ein zweites Bild erzeugen, eben so groß und an derselben Stelle, als wenn **mn** ein wirkliches Object wäre. Da aber dieses zweite Bild in der umgekehrten Lage von dem ersten Bilde **mn** erscheint, so kann man auf gleiche Weise, je nachdem man mehr oder weniger Linsen nimmt, aufrechte oder verkehrte Bilder eines Gegenstandes erhalten. Kann man das Object nach Belieben bewegen, so braucht man keine zwei Linsen, um ein aufrechtes Bild desselben zu erhalten; denn bringt man dann den Gegenstand in die umgekehrte

Lage, so erblickt man sein Bild durch eine einzige Linse aufrecht, obgleich es dann immer noch in Bezug auf den Gegenstand selbst in verkehrter Lage erscheint.

§. 53.

Um die Möglichkeit zu begreifen, wie Linsengläser Gegenstände vergrößern und dem Auge näher bringen können, oder vielmehr, wie sie größere und genäherte Bilder derselben zu erzeugen im Stande sind, muß man auf die verschiedene Größe sehen, die ein Gegenstand in verschiedenen Entfernungen vom Auge zu haben scheint. Wenn ein in E (Fig 35) befindliches Auge einen in einiger Entfernung stehenden Menschen ab wahrnimmt, so unterscheidet es nur seine Form im Allgemeinen, kann aber nicht darüber urtheilen, wie alt er ist, wie seine Gesichtszüge, seine Kleider u. s. w. beschaffen sind. Nähert sich der Mensch allmählich, so fängt man an, die verschiedenen Theile seiner Kleidung wahrzunehmen; in einigen Fußen Entfernung unterscheidet man deutlich seine Züge, in noch geringerem Abstande sogar seine Augenbraunen und die feinsten Narben seiner Haut. In der Entfernung Eb sieht man den Menschen unter dem Winkel bEa, in dem Abstande BE unter einem größern Winkel BEA oder bEA′ und das Maß seiner scheinbaren Größe in diesen Abständen sind die Winkel bEa und bEA′. Auf solche Weise kann die scheinbare Größe eines kleinen Objectes der eines großen gleich sein, und man kann z. B. einen Nadelknopf dem Auge so nahe bringen, daß er ein ganzes Gebirge, ja selbst die ganze sichtbare Oberfläche der Erde zu bedecken scheint; in diesem Falle ist die scheinbare Größe des Nadelknopfes der scheinbaren Größe des Berges gleich.

Gesetzt nun, es befinde sich ein Mensch 100 Fuß weit von dem beobachtenden Auge in E entfernt, und man stellte in die Mitte, also 50 Fuß weit vom Auge und vom Objecte, eine Linse von 25 Fuß Brennweite, so wird man nach den oben erörterten Gesetzen ein verkehrtes Bild des Menschen 50 Fuß weit hinter der Linse von gleicher Größe mit dem Menschen, also etwa 6 Fuß hoch erblicken. Betrachtet man dieses Bild des Objectes in einer Entfernung von 6 bis 8 Zollen hinter ihm, so wird man es beinahe eben so deutlich sehen, als wenn der Mensch aus seiner Entfernung von 100 Fuß sich bis auf einen Abstand von 6 Zoll genähert hätte, und in dieser Entfernung kann man denn jeden seiner Züge unterscheiden. Auf diese Weise scheint dann

der Mensch, obgleich seine wirkliche Größe dieselbe geblieben ist, sich vergrößert zu haben, weil seine scheinbare Größe sich bedeutend vergrößert hat, beinahe in dem Verhältnisse von 6 Zollen zu 100 Fußen, also fast 200 Mal.

Nimmt man statt einer Linse von 25 Fuß Brennweite eine Linse von kürzerer Brennweite, und stellt sie so zwischen das Auge und das Object, daß die conjugirten Brennpunkte 20 und 80 Fuß von der Linse entfernt sind, daß also das Object 20 Fuß von der Linse und vom Bild 80 Fuß hinter derselben liegt, so ist das Bild außerdem 4 Mal so groß als das Object, und ein 6 Zoll hinter dem Bilde befindliches Auge sieht dasselbe sehr deutlich. In diesem Falle ist also das Bild geradezu 4 Mal größer durch die Linse geworden, und es erscheint dem Auge außerdem 200 Mal größer, weil es ihm 200 Mal näher liegt, als das Object; seine scheinbare Größe ist folglich 800 Mal größer als die des Objectes.

Nimmt man dagegen eine Linse von noch geringerer Brennweite und stellt sie so zwischen das Auge und das Object, daß die conjugirten Brennpunkte 75 und 25 Fuß Entfernung von der Linse haben, so also, daß das Object 75 Fuß vor der Linse und das Bild 25 Fuß hinter ihr liege, so beträgt die Größe des Bildes nur ein Drittel von der des Objectes. Obgleich indeß das Bild auf diese Weise 3 Mal verkleinert ist, so ist seine scheinbare Größe doch durch die Annäherung aus dem Abstande von 100 Fußen bis auf 6 Zolle 200 Mal wieder vergrößert; die wahre Vergrößerung beträgt folglich $\frac{200}{3}$ oder nahe 67 Mal.

Für geringere Entfernungen, wo die Brennweite der Linsen einen bedeutenden Theil des ganzen Abstandes beträgt, findet man die vergrößernde Kraft einer Linse, wenn das Auge sich in einem Abstande von 6 Zollen befindet, nach folgender Regel:

Man subtrahire von dem in Zollen ausgedrückten Abstande des Objectes und Bildes die gleichfalls in Zollen ausgedrückte Brennweite der Linse, und dividire den Rest durch diese Brennweite selbst. Den so gefundenen Quotient dividire man in den in Zollen ausgedrückten Abstand des Objectes, so ist der neue Quotient die vergrößernde Kraft der Linse, d. h. die Zahl, die angibt, wie viele Male die scheinbare Größe des Objectes größer geworden ist.

Darf man die Brennweite der Linse gegen den Abstand des Objectes als verschwindend ansehen, wie dies meistens geschehen darf, so

findet man die vergrößernde Kraft bequemer auf folgende Weise: Man dividire die Brennweite der Linse durch den Abstand, in welchem das Auge das Bild betrachtet; da dieses gewöhnlich in einem Abstande von 6 Zollen geschieht, so hat man also nur die Brennweite mit 6 Zollen zu dividiren, oder was dasselbe ist, die in Zollen ausgedrückte Brennweite doppelt zu nehmen; die erhaltene Zahl ist die vergrößernde Kraft der Linse.

§. 54.

Damit hätten wir denn die Idee zu dem einfachsten Fernrohre gefunden. Es besteht dieses aus einer Linse mit einer über 6 Zoll großen Brennweite, am Ende eines Rohrs befestigt, dessen Länge 6 Zoll mehr, als die Brennweite der Linse, betragen muß. Sieht man dann ins andere Ende des Rohrs hinein, so erblickt man ein umgekehrtes Bild entfernter Gegenstände, deren Vergrößerung sich nach der Brennweite der Linse richtet. Beträgt diese 10 bis 12 Fuß, so vergrößert die Linse 20 bis 24 Mal, und man kann durch ein solches Fernrohr mit einer einzigen Linse die Trabanten des Jupiters recht gut wahrnehmen. Für das Auge einer kurzsichtigen Person, die Objecte in einem Abstande von 3 Zollen deutlich sieht, vergrößert dieses Rohr 40 bis 48 Mal.

Nach diesem Principe ist auch ein einfacher Concavspiegel ein reflectirender Teleskop, weil es im Grunde einerlei ist, ob das Bild durch Refraction oder Reflexion erzeugt wird. Man kann jedoch in diesem Falle das Bild mn (Fig. 14) nur dann wahrnehmen, wenn man sich mit dem Objecte auf derselben Seite vor dem Spiegel befindet. Geschieht die Reflexion ein wenig in schräger Richtung oder ist der Spiegel groß genug, so daß der Beobachter nicht alle Lichtstrahlen des Objects auffängt, so kann man sich desselben statt eines Fernrohres bedienen. Mit einem solchen großen Spiegel von 4 Fuß Durchmesser und 40 Fuß Brennweite entdeckte Herschel einen der Saturnstrabanten.

Es gibt indessen noch eine andere Art, die scheinbare Größe von Objecten zu vergrößern, besonders von solchen Objecten, die wir in unserer Gewalt haben, und diese Vergrößerungsart ist für die Optik sehr wichtig. Wir werden, wenn wir von der Sehkraft handeln, zeigen, daß ein gutes Auge die allgemeine Form eines Gegenstandes deutlich sieht, der sich in weiter Entfernung von demselben befindet, und

daß dasselbe die merkwürdige Eigenschaft besitzt, Gegenstände in verschiedenen Entfernungen wahrzunehmen. Um auf diese Weise ein Object gut zu sehen, muß man die von ihm herkommenden Lichtstrahlen in parallelen Richtungen zum Auge gelangen lassen, gerade so als wäre das Object selbst sehr entfernt.

Bringt man nun ein Object oder dessen Bild dem Auge sehr nahe, so daß es eine bedeutende scheinbare Größe bekommt, so wird man es nicht deutlich erkennen können; läßt man aber die von ihm herkommenden Strahlen auf irgend eine Weise parallel ins Auge gelangen, so sieht man das Object sehr deutlich. Dieses erreicht man mit Hülfe einer Linse, aus deren Brennpunkte die Strahlen divergirend auf dieselbe fallen; sie kommen dann, wie wir oben gezeigt haben, in parallelen Richtungen aus demselben wieder heraus. Bringt man daher ein Object oder dessen Bild in den Brennpunkt einer dicht vor dem Auge befindlichen Linse von kurzer Brennweite, so gelangen die Strahlen durch die Linse parallel ins Auge und zeigen das Object sehr deutlich, weil es im Verhältniß seines geringen Abstandes vom Auge zum Abstande von 6 Zollen, der deutlichsten Sehweite, vergrößert erscheint. Dieser geringe Abstand vom Auge ist der Brennweite der Linse gleich; man findet daher die vergrößernde Kraft einer solchen Linse, wenn man 6 Zolle durch die Brennweite der Linse dividirt. Eine einzige solche Linse, deren man sich zur Vergrößerung eines Objectes bedient, heißt ein einfaches Mikroskop; vergrößert man das schon durch eine Linse vergrößerte Bild noch durch eine zweite, so machen die beiden Linsen in ihrer Vereinigung ein zusammengesetztes Mikroskop aus.

Bedient man sich einer solchen Linse zur Vergrößerung des durch ein einfaches Fernrohr hervorgebrachten Bildes eines entfernten Objectes, so heißt eine solche Verbindung zweier Linsen ein astronomischer Refractor; vergrößert man mit derselben das durch einen Hohlspiegel hervorgebrachte Bild eines entfernten Objectes, so hat man einen astronomischen Reflector. Bedient man sich endlich derselben, um das vergrößerte Bild MN (Fig. 14) eines vor einen Hohlspiegel befindlichen Objectes mn zu vergrößern, so geben beide das reflectirende Mikroskop. Alle diese Instrumente wollen wir in der Folge genauer beschreiben.

Sechstes Capitel.

Aberration des Lichtes wegen der Kugelgestalt der Linsen und Spiegel.

§. 55.

In den vorhergehenden Capiteln haben wir angenommen, daß die von Kugelflächen gebrochenen Strahlen sich genau in einem einzigen Brennpunkte schnitten. Dieses ist aber in der Wirklichkeit nicht genau der Fall, und der Leser, der nach den oben beschriebenen Methoden, den Weg der Lichtstrahlen gezeichnet hat, wird gefunden haben, daß die der Axe einer Kugelfläche oder Linse am nächsten einfallenden Strahlen in einem von der Linse entferntern Punkte gebrochen werden, als die Strahlen, die weiter von der Axe einfallen. Die von uns aufgestellten Regeln zur Bestimmung der Brennpunkte von Kugelflächen und Linsen gelten nur für solche Strahlen, die sehr nahe an der Axe einfallen.

Die Ursache der Aberration des Lichtes wegen der Kugelgestalt erhellt aus Folgendem. Es sei LL (Fig. 36) eine Planconvexlinse mit sphärischer Oberfläche, deren Planfläche sich auf der Seite der parallelen Lichtstrahlen RL, RL befinden mag. Sehr nahe an der Axe AF fallen die Strahlen R'L', R'L' ein, und schneiden sich nach der Brechung in dem Brennpunkte F. RL, RL sind Parallelstrahlen, die unmittelbar auf den Rand der Linse einfallen. Vollendet man dann die Zeichnung nach den früher angegebenen Principien, so zeigt sich, daß die zu RL, RL gehörigen gebrochenen Strahlen Lf, Lf sich in einem Punkte f schneiden, welcher näher bei der Linse liegt als F. Auf gleiche Weise finden die zwischen R'L' und RL fallenden Strahlen ihre Brennpunkte zwischen F und f. Verlängert man die Strahlen Lf und Lf, bis sie eine durch F gelegte Ebene in den Punkten G und H schneiden, so heißt die Länge fF die sphärische Längenaberration des Lichtes und GH die sphärische Aberration der Linse oder die Aberration wegen der Kugelgestalt. Für eine wie in unserer Figur aufgestellte Planconvexlinse beträgt die Längenaberration fF nicht weniger als die vier- und einhalbfache Dicke der Linse mn. Eine solche Linse kann daher auch in ihrem Brennpunkte F kein deutliches Bild erzeugen. Fallen die Sonnenstrahlen auf LmL ein, so erzeugt der centrale Theil L'mL' der Linse, der seinen Brennpunkt in F hat, in diesem Punkte ein sehr helles Bild der Sonne;

da aber die weiter nach dem Rande L, L zu einfallenden Strahlen ihre Brennpunkte zwischen F und f haben, so gelangen die zugehörigen gebrochenen Strahlen erst in die Ebene GH, nachdem sie schon durch ihre Brennpunkte gegangen sind, und nehmen in dieser Ebene eine Kreisfläche von Durchmesser GH ein. Das Bild der Sonne im Brennpunkte F wird deßhalb eine leuchtende Scheibe (Fig. 37), umgeben von einem breiten unbestimmten Lichthofe, der von F nach G und H zu immer schwächer wird. Daraus ist klar, daß jedes durch eine solche Linse gesehene Object, so wie jedes von ihr erzeugte Bild durch die Aberration des Lichtes wegen der Kugelgestalt undeutlich und verworren erscheinen muß.

Von der Richtigkeit dieser Resultate überzeugt man sich, wenn man die Ränder der Linsenfläche LL (Fig. 36) mit einer Kreisscheibe von schwarzem Papier bedeckt. Dadurch wird der Hof GH kleiner und die Verworrenheit des Bildes nimmt ab. Bedeckt man die ganze Linse bis auf einen kleinen Theil um den Mittelpunkt herum, so wird das Bild sehr deutlich, aber nicht so hell als vorher, und dann ist der Brennpunkt genau in F. Bedeckt man dagegen den centralen Theil der Linse und läßt nur einen schmalen Rand frei, so erzeugt sich ein sehr deutliches Bild der Sonne um den Punkt f.

§. 56.

Verfertigt man sich eine sehr große Zeichnung von einer planconvexen und biconvexen Linse, läßt auf jede Fläche derselben in verschiedenen Entfernungen von der Axe parallele Lichtstrahlen einfallen und bestimmt die Richtungen derselben nach ihrer Brechung, so finden sich für Glaslinsen folgende Resultate.

1) Bei einer Planconvexlinse, die ihre Planseite parallelen Lichtstrahlen wie in (Fig. 36) zukehrt, d. h. gegen ein entferntes Object gerichtet ist, wenn man hinter der Linse ein Bild erzeugen, oder gegen das Auge gerichtet ist, wenn man einen nahen Gegenstand vergrößern will, beträgt die Aberration wegen der Kugelgestalt $4\frac{1}{2}$ Mal die Linsendicke mn.

2) Kehrt eine Planconvexlinse den Parallelstrahlen ihre convexe Seite zu, so beträgt die Aberration nur 1,17 der Linsendicke. Bedient man sich also einer Planconvexlinse, so muß man sie so stellen, daß die parallelen Lichtstrahlen auf die convexe Seite entweder einfallen oder aus derselben ausfahren.

3) Für eine Biconvexlinse mit gleichförmigen Convexitäten beträgt die Aberration 1,67 der Linsendicke.

4) Für eine Biconvexlinse, deren Krümmungshalbmesser 2 und 5 sind, ist die Aberration dieselbe wie für eine Planconvexlinse (1), wenn sie die Fläche mit dem Halbmesser 5 den Parallelstrahlen zukehrt; kehrt sie aber die Fläche mit dem Halbmesser 2 den Parallelstrahlen zu, so ist die Aberration wie für eine Planconvexlinse (2).

5) Die kleinste Aberration hat eine Linse, welche biconvex ist und deren Halbmesser 1 und 6 sind. Kehrt sie die Seite mit dem Halbmesser 1 den Parallelstrahlen zu, so beträgt die Aberration nur 1,07 der Linsendicke; kehrt sie dagegen die Seite mit dem Halbmesser 6 den Parallelstrahlen zu, so hat sie eine Aberration, die 3,45 der Linsendicke beträgt.

Diese Gesetze gelten für Planconcav- und Biconcavlinsen gleichfalls in vollkommener Strenge.

Nimmt man die Aberration einer Linse von der kleinsten Aberration wegen der Kugelgestalt als Einheit an, so ergeben sich die Aberrationen der übrigen Linsen durch folgende Zahlen.

Die vortheilhafteste Form, wie in (5) 1,000
Biconcav- oder Biconvexlinse mit gleichen Krümmungen . 1,567
Planconcav- oder Planconvexlinse in ihrer vortheilhaftesten Stellung nach (2). 1,081
Planconcav- oder Planconvexlinse in ihrer nachtheiligen Stellung nach (1). 4,200

§. 57.

Da die um den Mittelpunkt herumliegenden Theile der Linse LL (Fig. 36) die Lichtstrahlen sehr wenig, die Ränder der Linse dieselben dagegen sehr stark brechen, so würde man offenbar die Aberration wegen der Kugelgestalt vernichten können, wenn man den Theilen in n eine größere Convexität gebe und diese dann nach L zu allmählich verminderte. Hyperbeln und Ellipsen sind gerade solche krumme Linien, deren Krümmung von n nach L zu abnimmt, und es läßt sich mathematisch beweisen, daß man die Aberration wegen der Kugelgestalt ganz vermeiden könne, wenn man Linsen anwendet, deren Durchschnitte Ellipsen oder Hyperbeln sind. Diese merkwürdige Entdeckung hat Descartes gemacht.

Es sei ALDL (Fig. 38) eine Ellipse, deren große Axe AD sich

zum Abstande der Brennpunkte f und F verhält, wie der Brechungsexponent zur Einheit. Fallen dann Parallelstrahlen RL, RL auf die elliptische Fläche LAL, so würden sie in Folge der Brechung durch diese Fläche, falls weiter keine Brechung durch die zweite Fläche LaL stattfände, genau im Punkte F concentrirt werden. Da indeß jede Linse zwei Oberflächen haben muß, so beschreibe man, um die zweite Brechung zu vermeiden, aus dem Punkte F als Mittelpunkt einen Kreis LaL, und mache die Kugelfläche, deren Durchschnitt dieser Kreis ist, zur Hinterfläche der Linse. Da nun sämmtliche von der Fläche LAL gebrochene Strahlen nach dem Punkte F gerichtet sind und also auf die Kugelfläche dieser Construction zufolge lothrecht treffen, so erleiden sie weiter keine Brechung von derselben, gehen also sämmtlich geradlinig fort zum Punkte F. Verfertigt man daher einen Meniskus, dessen convexe Fläche ein Theil eines Ellipsoids ist und dessen concave Seite zu einer Kugel gehört, deren Mittelpunkt in dem entferntesten Brennpunkte des Ellipsoids liegt, so hat man eine Linse ohne Aberration wegen der Kugelgestalt, welche parallel auf ihre convexe Seite einfallende Lichtstrahlen in dem entferntesten ihrer Brennpunkte bricht.

Auf gleiche Weise wird eine Concavconvexlinse LL (Fig. 39), deren concave Fläche LAL aus einem Ellipsoide ALDL geschnitten ist und deren convexe Fläche LaL zu einer aus dem entferntesten Brennpunkte F der Ellipse beschriebenen Kugel gehört, die parallelen Lichtstrahlen RL RL in die Richtungen Lr, Lr brechen, als kämen sie aus dem Brennpunkte F, ihrem virtuellen Brennpunkte, her.

Hat eine Planconvexlinse LAL (Fig. 40) zur convexen Seite einen Theil eines Hyperboloids, welches erzeugt ist durch die Umdrehung einer Hyperbel um ihre große Axe, und steht diese Axe zur Entfernung der Brennpunkte von einander in dem Verhältnisse des Brechungsexponenten gegen die Einheit, so werden die lothrecht auf die Planseite einfallenden parallelen Lichtstrahlen RL, RL ohne Aberration in den vom Hyperboloide am entferntesten liegenden Brennpunkt F gebrochen. Eine Planconcavlinse mit derselben hyperbolischen Fläche, welche ihre Planseite den parallelen Lichtstrahlen zukehrt, besitzt dieselbe Eigenschaft.

Ein Meniskus mit sphärischen Oberflächen erhält, wenn das Licht in convergirenden Strahlen auf seine vordere convexe Fläche fällt, die Eigenschaft, alle diese Strahlen in seinem Brennpunkt zu brechen, wenn

der Abstand des Convergenz- oder Divergenzpunktes vom Krümmungsmittelpunkte der Vorderfläche sich zum Halbmesser dieser Fläche verhält, wie der Brechungsexponent zur Einheit. Es sei MLLN (Fig. 41) ein Meniskus, RL, RL seine Lichtstrahlen, die im Punkte E convergiren; die Entfernung EC dieses Punktes E vom Mittelpunkte C der Vorderfläche LAL des Meniskus verhalte sich zum Halbmesser CA oder CL dieser Fläche, wie der Brechungsexponent zur Einheit, für Glas also wie 1,500 zu 1. Ist dann F der Brennpunkt der Vorderfläche, so beschreibe man aus F mit einem Halbmesser, kleiner als FA, einen Kreis, welcher die Hinterfläche der Linse bildet. Zeichnet man dann die zu RL, RL gehörigen gebrochenen Strahlen nahe oder weiter von der Axe AE entfernt, so sind diese sämmtlich in F gerichtet, fallen also senkrecht auf die zweite Fläche der Linse und gehen mithin ohne Brechung durch diese hindurch in den Punkt F. Eben so leuchtet ein, daß wenn die Lichtstrahlen FL und FL aus F divergirend auf die concave Seite des Meniskus fielen, dieselben in die Richtungen RL, RL gebrochen würden, gerade als wenn sie genau aus einem virtuellen Brennpunkte E kämen.

Gleich nach der Entdeckung der obigen Eigenschaften der Ellipse und Hyperbel und der durch ihre Axenumdrehungen erzeugten Körper wandten die Optiker allen Scharfsinn an, um Linsen mit elliptischen und hyperbolischen Oberflächen zu schleifen und zu poliren. Es gelang ihnen auch, mehre sehr sinnreiche Mechanismen zu diesem Zwecke zu Stande zu bringen, welche indeß keinen glücklichen Erfolg hatten; die Schwierigkeiten in der praktischen Verfertigung solcher Linsen sind so bedeutend, daß man bis auf den heutigen Tag in allen optischen Instrumenten nur sphärische Linsen anwendet.

Obgleich man indeß bei einer einzelnen Linse die Aberration des Lichtes wegen der Kugelgestalt nicht ganz fortschaffen und auch nicht über 1,07 ihrer Dicke hinaus vermindern kann, so ist es doch möglich, durch eine Verbindung zweier oder mehrer Linsen, wo die Aberration der einen die der andern verbessert, in mehren Fällen diesem Fehler bedeutend abzuhelfen und in einigen, ihn ganz zu vernichten.

§. 58.

Herschel fand, daß zwei Planconvexlinsen AB und CD (Fig. 42), mit den Brennweiten 2, 3 und 1, mit ihren convexen Flächen dergestalt verbunden, daß die am wenigsten convexe vor dem Auge liegt,

als Mikroskop gebraucht nur eine Aberration von 0,248 haben, also nur den vierten Theil der Aberration einer einzigen Linse von der vortheilhaftesten Form. Soll diese Linse zur Erzeugung eines Bildes gebraucht werden, so muß man AB dem Objecte zukehren. Haben beide Linsen gleiche Brennweite, so beträgt die Aberration wegen der Kugelgestalt 0,603, also etwas über die Hälfte der Aberration einer einfachen Linse von der besten Form.

Herschel zeigte ferner, daß man die Aberration gänzlich vernichten könne durch Verbindung eines Meniskus CD mit einer Biconvexlinse AB (Fig. 43 und 44), von denen AB gegen das Auge, falls die Vorrichtung als Mikroskop, und gegen das Object gekehrt sein muß, falls sie als Brennglas oder zur Erzeugung eines Bildes gebraucht werden soll. Die Krümmungshalbmesser dieser beiden Linsen sind nach Herschel's Angaben folgende:

	Fig. 43.	Fig. 44.
Brennweite der Biconvexlinse AB . .	+ 10,000	+ 10,000
Halbmesser der Vorderfläche . . .	+ 5,833	+ 5,833
Halbmesser der Hinterfläche der Linse AB	— 35,000	— 35,000
Brennweite des Meniskus CD . .	+ 17,829	+ 5,497
Halbmesser seiner Vorderfläche . .	+ 3,688	+ 2,054
Halbmesser seiner Hinterfläche . . .	+ 6,291	+ 8,128
Brennweite der zusammengesetzten Linse	+ 6,407	+ 3,374

§. 59.

Aberration des Lichtes in Spiegeln.

Wir haben schon früher bemerkt, daß parallele Lichtstrahlen AM, AN, die auf einen sphärischen Spiegel MN (Fig. 45) fallen, nur dann in demselben Brennpunkte F gebrochen werden, wenn sie sehr nahe an der Axe AD einfallen. Liegt der Brennpunkt der sehr nahe bei der Axe einfallenden Strahlen Am im Punkte F, so wird der Brennpunkt der am weitesten von der Axe einfallenden Strahlen AM in einen Punkt f zwischen F und D fallen. Ff ist dann die Längenaberration wegen der Kugelgestalt, die mit dem Durchmesser des Spiegels bei gleicher Krümmung desselben, und mit der Krümmung des Spiegels bei gleichem Durchmesser veränderlich ist. Dadurch werden dann die von Spiegeln erzeugten Bilder, gerade wie die Bilder der Linsen unbestimmt, und die Sache hat hier denselben Grund wie bei den Linsen.

Wäre MN eine solche krumme Linie, daß eine mit der Axe AD

parallele Linie AM, und eine zweite aus einem festen Punkt f gezogene Line fM mit dem auf der Curve MN errichteten Lothe CM an allen Stellen der Curve gleiche Winkel einschlössen: so würde man durch die Rotation dieser Curve um ihre Axe eine Fläche erhalten, welche sie parallel einfallenden Strahlen sämmtlich in einen einzigen Punkt f reflektirte und völlig bestimmte Bilder erzeugte. Eine solche krumme Linie ist die Parabel. Könnte man also Spiegel verfertigen, deren Durchschnitt MN parabolisch wäre, so besäßen diese die schöne Eigenschaft, sämmtliche mit der Axe parallel einfallende Strahlen in einen einzigen Punkt zu reflektiren. Ist die Krümmung eines Spiegels sehr klein, so haben die Optiker mehrfache Mittel, ihm eine parabolische Gestalt zu geben; bei stark gekrümmtem Spiegel läßt sich jedoch diese Form bis jetzt durch kein Mittel hervorbringen.

Eben so läßt sich zeigen, daß divergirende auf einen sphärischen Concavspiegel einfallende Lichtstrahlen nach verschiedenen Punkten der Axe des Spiegels reflektirt werden. Könnte man eine solche Fläche hervorbringen, daß die einfallenden und reflektirten Strahlen mit einem auf die Fläche im Einfallspunkte errichteten Lothe überall gleiche Winkel einschlössen, so würden sich die Strahlen sämmtlich in einem und demselben Punkte schneiden und also einen gemeinschaftlichen Brennpunkt haben. Diese Eigenschaft besitzt die elliptische Fläche; sämmtliche Strahlen, die aus einem Brennpunkte divergirend auf die elliptische Wölbung einfallen, werden genau in den andern Brennpunkt reflektirt. Deßhalb muß in reflektirenden Mikroskopen der Spiegel ein Theil eines Ellipsoids sein, dessen Axe die Axe des Ellipsoids ist, und wo das Object in den dem Spiegel am nächsten liegenden Brennpunkt des Ellipsoids gebracht wird.

§. 60.

Brennlinien, erzeugt durch Reflexion und Brechung des Lichtes.

Brennlinien hervorgebracht durch Reflexion der Lichtstrahlen. Da Lichtstrahlen, welche in verschiedenen Abständen von der Axe einer reflexionsfähigen Oberfläche einfallen, in verschiedene auf dieser Axe befindliche Brennpunkte reflektirt werden, so müssen solchergestalt reflektirte Strahlen sich nothwendig in besonderen Punkten schneiden, und in allen diesen Punkten erscheint dann der weiße Grund, welcher die Lichtstrahlen auffängt, doppelt so stark erleuchtet als in den übrigen Punkten. Diese Lichtdurchschnitte bilden krumme Linien, welche

Brennlinien genannt werden; ihre Beschaffenheit und Gestalt richtet sich nach der Oeffnung des Spiegels und nach dem Abstande des strahlenden Punktes vom Spiegel.

Die Bildung und die allgemeinen Eigenschaften der Brennlinie erhellen aus Folgendem. Es sei MBN (Fig. 46) ein concaver Kugelspiegel, C sein Mittelpunkt, und F sein Brennpunkt für centrale Parallelstrahlen. RMB sei ein Lichtkegel, welcher auf die obere Hälfte MB des Spiegels in den Punkten 1, 2, 3, 4, 5 u. s. w. einfällt. Zieht man vom Mittelpunkte C an alle diese Punkte Lothe und macht dann die Reflexionswinkel den Einfallswinkeln gleich, so erhält man die Richtungen und die Brennpunkte sämmtlicher reflektirten Strahle. Der dicht an der Axe einfallende Strahl R1 hat seinen conjugirten Brennpunkt f zwischen F und dem Spiegelmittelpunkte C. Der Strahl R2 schneidet die Axe näher bei F, und so rücken die Brennpunkte für die folgenden Strahlen allmählich von C nach F zu. Verbindet man sämmtliche reflektirte Strahlen mit ihren Brennpunkten, so schneiden sie sich gegenseitig, wie die Figur zeigt, und erzeugen durch ihre Schnittpunkte die Brennlinie Mf. Wäre der Lichtkegel auf die untere Hälfte des Spiegels gefallen, so würde er zwischen N und f eine ähnliche Brennlinie hervorgebracht haben, die in der Figur durch die punktirte Linie angegeben ist. Stellt man sich also vor, der Einfallspunkt einer unendlich dünnen aus R divergirenden Lichtmasse rücke vom Punkte M nach B zu, so rücken die conjugirten Brennpunkte zweier sich schneidenden Lichtstrahlen auf der Brennlinie von M nach f zu fort.

Wäre die convexe Seite MBN des Spiegels polirt, und befände sich der strahlende Punkt eben so weit rechts von B, als er in der Figur links davon liegt, so überzeugt man sich, wenn man die einfallenden und reflektirten Strahlen zeichnet, daß sie nach der Zurückwerfung divergiren; verlängert man sie dann rückwärts, so schneiden sie sich gegenseitig und die Schnittpunkte bilden eine eingebildete Brennlinie Mf′N hinter der convexen Fläche, die der wirklichen Brennlinie vollkommen ähnlich ist.

Denkt man sich den Convexspiegel MBN durch das Stück MAN zu einer um den Mittelpunkt C beschriebenen vollen Kugel ergänzt, und dann den Lichtkegel noch aus R divergirend, so bilden diese Lichtstrahlen die eingebildete Brennlinie Mf′N, die einer als MfN ist und diese in den Punkten M und N berührt.

Entfernt sich der strahlende Punkt R vom Spiegel MBN, so wird die Linie Bf, die sogenannte Tangente der reellen Brennlinie, MfN offenbar kleiner, weil der conjugirte Brennpunkt f nach F zu rückt und die Tangente Af′ der eingebildeten Brennlinie sich damit vergrößert. Befindet sich R in einer unendlich großen Entfernung, so daß die einfallenden Strahlen parallel werden, so fallen die Punkte f und f′, die sogenannten Wendepunkte oder Hörner der Brennlinie, mit den Hauptbrennpunkten F und F′ zusammen.

Nähert sich dagegen der strahlende Punkt dem Spiegel, so rückt der Wendepunkt f der Brennlinie dem Centrum zu und die Tengente Bf vergrößert sich, während der Wendepunkt f′ der eingebildeten Brennlinie nach A zu rückt und die Tangente Af′ sich verkleinert. Langt der strahlende Punkt R im Punkt A des Kreisumfanges an, so gelangt auch f′ in A und die eingebildete Brennlinie verschwindet; der Wendepunkt f der reellen Brennlinie liegt dann ein wenig rechts von C und die entgegengesetzten Scheitelpunkte der Brennlinie schneiden sich im strahlenden Punkte A.

Läßt man den strahlenden Punkt A in den Kreis AMBN hineinrücken wie in (Fig. 47) und zwar so weit, daß RC kleiner als RA ist, so bildet sich eine merkwürdige doppelte Brennlinie. Sie besteht aus zwei kurzen gewöhnlichen Brennlinien ar und br, welche einen gemeinschaftlichen Wendepunkt in r haben, und aus zwei langen von a und b ausgehenden Aesten, welche sich in einem Brennpunkte f schneiden. Ist RC größer als RA, so gehen die letzteren beiden krummen Aeste, statt sich in f hinter dem Spiegel zu schneiden, aus einander und haben einen virtuellen Brennpunkt im Spiegel. Fällt R mit dem in der Mitte zwischen A und C liegenden Punkte F, und der virtuelle Brennpunkt mit dem Hauptbrennpunkte des Converspiegels MAN zusammen, so werden die letztgenannten krummen Aeste zu geraden parallelen Linien. Kommt R in den Kugelmittelpunkt C, so verschwinden die Brennlinien gänzlich, und sämmtliches Licht wird in einen einzigen mathematischen Punkt C concentrirt, also in den Punkt zurückgeworfen, aus dem es divergirte.

Zufolge des Princips, von welchem diese Erscheinungen abhängen, hat ein Kugelspiegel in gewissen Fällen die paradoxe Eigenthümlichkeit, Strahlen, die von einem unveränderlichen Punkte aus divergiren, parallel, divergirend und convergirend zurückzuwerfen; befindet sich

nämlich der strahlende Punkt nahe beim Hauptbrennpunkte des Spiegels, so werden die dicht an der Axe einfallenden Strahlen parallel, die etwas weiter von ihr liegenden divergirend und die noch weiter entfernten convergirend reflectirt. Durch eine Zeichnung der reflectirten Strahlen kann man sich hinlänglich von dieser Eigenschaft der Kugelspiegel überzeugen.

Man nimmt dann und wann sehr schöne und sehr bestimmte Brennlinien auf dem Boden porzellanener oder irdener Gefäße wahr, die dem Sonnen- oder einem Kerzenlichte ausgesetzt sind; gewöhnlich fallen jedoch die Strahlen wegen der großen Tiefe der Gefäße zu schräg auf. Man kann diese Tiefe aufheben und die Brennlinien sichtbar machen, wenn man einen runden Deckel aus Karten- oder andern weißem Papiere etwa einen Zoll tief unter die obere Fläche bringt, oder die Gefäße bis zur Höhe von einem Zolle mit Milch oder einer andern weißen undurchsichtigen Flüssigkeit füllt.

Sehr belehrend und bequem habe ich folgendes Verfahren zur Hervorbringung von Brennlinien gefunden. Man nehme ein Stück einer gut polirten Stahlfeder MN (Fig. 48), etwa eine Uhrfeder, gebe ihr eine concave Form, wie sie in der Figur abgebildet ist und stelle sie vertikal auf ein Kartenblatt oder ein Stück weißes Papier AB. Setzt man sie darn den Strahlen der Sonne oder eines andern leuchtenden Körpers aus und sorgt dafür, daß die Ebene des Papiers beinahe quec durch die Sonnenstrahlen geht, so sieht man die beiden in der Figur punktirten Brennlinien sehr schön. Verändert man die Größe der Feder und gibt ihr verschiedene Krümmungen, so sieht man alle Sorten von Brennlinien mit ihren Hörnern und entgegengesetzten Krümmungen. Man bringt die Feder dadurch sehr leicht in die verlangte krumme Linie, daß man diese auf Holz zeichnet und sie dann so tief einschneidet oder einbrennt, daß sich die dünne Seite des Metallstreifes in die Fuge schieben läßt. Gold- und Silberblätter sind zu diesem Zwecke sehr gut; bei sehr starkem Lichte läßt sich ein dünner Streifen Glimmer anwenden. Die beste Substanz ist indeß immer ein polirtes Silberblättchen.

§. 61.

Brennlinien hervorgebracht durch Brechung des Lichtes. Setzt man eine mit Wasser gefüllte Glaskugel oder eine massive sphärische Linse oder auch nur einen mit Wasser gefüllten ko-

nischen Trichter den Sonnenstrahlen oder dem Lichte einer Lampe oder Kerze aus, und fängt dann das gebrochene Licht auf einem weißen Papiere dergestalt auf, daß dieses der Axe der Kugel fast parallel, seine Ebene also beinahe quer durch den leuchtenden Körper geht, so erblickt man auf dem Papiere eine Lichtfigur geschlossen von zwei hellen Brennlinien af und bf (Fig. 47), die aber hinter der Kugel liegen und ein Horn oder eine spitze Ecke im Punkte f bilden, welcher der Brennpunkt der gebrochenen Strahlen ist. Die Entstehung dieser Brennlinien hängt von dem Durchschnitte der Lichtstrahlen ab, die in verschiedenen Abständen von der Axe auf die Kugel fallend nach verschiedenen Punkten der Axe gebrochen werden und sich deßhalb schneiden. Diese Erscheinung ist so leicht zu begreifen und durch eine Zeichnung der gebrochenen Strahlen so deutlich nachzuweisen, daß es überflüssig sein würde, hier mehr darüber zu sagen.

Man kann einige Phänomene der durch Lichtbrechung hervorgebrachten Brennlinien durch folgenden Versuch darstellen. Man nehme ein niedriges gerades cylinderförmiges Gefäß MN (Fig. 49) aus Blei von 2 bis 3 Zoll Durchmesser, schneide den obern Rand ab, wie die Figur zeigt, indem man einander gegenüber zwei Streifen ac und bd stehen läßt, deren jeder 10 bis 15 Grad des Kreisumfanges breit ist, und leime auf das Gefäß zwei Streifen Glimmer, die den weggeschnittenen Rand wieder ersetzen, so daß man statt des fortgenommenen Bleies zwei transparente cylinderförmige Flächen hat. Füllt man dann das Gefäß mit Wasser oder einer andern durchsichtigen Flüssigkeit und stellt ein Kartenblatt oder ein Stück weißes Papier so, daß es fast parallel mit der Oberfläche des Wassers ist und daß seine Ebene fast quer durch die Strahlen der Sonne oder der Kerze geht, so bilden sich darauf die Brennlinien AF und BF mit vielem Glanze ab. Aendert man die Krümmung des Gefäßes und der Glimmerblätter ab, so kann man mehre sehr interessante Aenderungen dieses Versuches erhalten.

Zweiter Abschnitt.

Physische Optik.

§. 62.

Die physische Optik, ein Zweig der Optik im Allgemeinen, handelt von den physischen Eigenschaften des Lichtes. Diese bestehen in der Zerlegung des weißen Lichtes und seiner Wiederzusammensetzung, seiner Zerlegung durch Absorbiren der Körper, in der Inflexion oder Diffraction des Lichtes, in den Farben dünner und dicker Blätter, in der doppelten Strahlenbrechung und der Polarisirung des Lichtes.

Siebentes Capitel.

Zerlegung des Lichtes. Farben.

§. 63.

Im vorigen Abschnitte haben wir das Licht als eine einfache Substanz angesehen, und als aus Theilen bestehend, die einerlei Brechungsvermögen besitzen, und folglich einerlei Aenderungen erleiden, wenn transparente Media auf sie wirken. Eine solche einfache Substanz ist jedoch das Licht nicht, sondern das weiße Licht der Sonne oder jedes andern leuchtenden Körpers besteht aus sieben verschiedenartigen Strahlen: dem rothen, orangen, gelben, grünen, blauen, indigofarbenen und violetten Lichte. Man kann das weiße Licht in seine einfachen Theile durch zwei verschiedene Mittel, durch die Brechung und durch die Absorption, zerlegen oder auflösen.

Newton ist der Entdecker der Zusammensetzung des Lichtes, und er bediente sich zur Zerlegung desselben des ersten Mittels, nämlich der Brechung. Läßt man einen Sonnenstrahl **SH** durch ein kleines Loch **H** in dem Fensterladen **EH** (Fig. 50) eines dunklen Zimmers in dieses eindringen, so geht dieser in gerader Linie fort, und bildet einen weißen Flecken in **P**. Bringt man aber zwischen **S** und **P** ein Prisma mit dem Brechungswinkel **ABC**, und zwar so, daß der Lichtstrahl

auf die Vorderfläche CA fällt und aus der Hinterfläche BA unter demselben Winkel in der Richtung gG ausfährt, und fängt man dann den gebrochenen Strahl auf der gegenüber stehenden Mauer oder vielmehr auf einem weißem Schirme auf: so sollte man nach den bisherigen Principien erwarten, daß der weiße Lichtstrahl, der bei nicht vorhandenem Prisma auf P fiel, durch das Prisma bloß eine Aenderung seiner Richtung erleiden, nach MN fortgehen und dort eine weiße Scheibe bilden würde, ganz der in P ähnlich. Dieses geschieht aber nicht, denn statt der weißen Scheibe zeigt sich auf dem Schirme MN ein längliches Sonnenbild KL, worin sieben Farben zu unterscheiden sind: roth, orange, gelb, grün, blau, indigo und violet; dabei divergirt sämmtliches Licht bei seinem Austritte aus g, zwischen den Grenzlinien gk und gL. Dieses längliche Sonnenbild nennt man das Spectrum oder das prismatische Farbenbild. Bei einer kleinen Oeffnung H und in beträchtlicher Entfernung gG hinter dem Prisma sind die Farben des prismatischen Bildes sehr deutlich; der untere Theil L ist ein scharfes Roth, dieses geht allmählich in unbemerkbaren Abstufungen in Orange, das Orange in Gelb, das Gelb in Grün, das Grün ins Blau, dieses in reines Indigoblau, und dieses wieder in Violet über. Nirgends hat das Farbenbild Linien, und es ist dem schärfsten Auge sogar sehr schwer, Grenzen der verschiedenen Farben wahrzunehmen. Nach vielen Versuchen bestimmte jedoch Newton die Längen der einzelnen Farben für die Glasart, aus der sein Prisma bestand; die folgende Tabelle enthält seine so wie die Resultate, die Fraunhofer für Flintglas fand.

	Newton.	Fraunhofer.
Roth . . .	45 . .	56
Orange . . .	27 . .	27
Gelb . . .	40 . .	27
Grün . . .	60 . .	46
Blau . . .	60 . .	48
Indigo . . .	48 . .	47
Violet . . .	80 . .	109
Gesammtlänge des Bildes	360 . .	360

Die Farben des prismatischen Bildes haben nicht alle gleiche Stärke. Am äußersten Ende L ist das Roth verhältnißmäßig schwach, wird jedoch nach dem Orange zu stärker; dann nimmt die Lichtstärke

fortwährend zu bis in die Mitte des Gelben, wo sie am größten ist; von hier an nimmt sie allmählich wieder ab und ist am obern Ende K, dem violetten, sehr schwach.

§. 64.

Aus diesem Phänomen zog Newton den Schluß, daß das weiße Licht aus sieben verschiedenen Farben zusammengesetzt sei, die für die Glasart, woraus sein Prisma bestand, verschiedenes Brechungsverhältniß besäßen, und zwar so, daß das Brechungsverhältniß des rothen Lichtes am geringsten, das des violetten Lichtes am stärksten ausfalle.

Für ein Prisma aus Kronglas ist das Brechungsverhältniß der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen folgendes:

Roth	1,5258
Orange . . .	1,5268
Gelb	1,5296
Grün	1,5330
Blau	1,5360
Indigo . . .	1,5417
Violet	1,5466

Zeichnet man das Prisma ABC nach einem etwas großen Maßstabe, läßt das Licht auf einen einzigen Punkt der Vorderfläche AC fallen und bestimmt dann den Durchgang jedes einzelnen Lichtstrahles nach dem eben aufgestellten Brechungsverhältnisse, so gehen diese Strahlen wie in der Figur auseinander und folgen in der Ordnung des prismatischen Farbenbildes.

Um jedes einzelne farbige Licht für sich untersuchen zu können, machte Newton in dem Schirme MN dem Mittelpunkte jedes farbigen Lichtes gegenüber ein Loch, durch welches dieses einzelne Licht auf ein zweites hinter dem Loche aufgestelltes Prisma fiel. Dieses zum zweiten Male gebrochene Licht erzeugte kein längliches Farbenbild, wie das weiße Licht, und wurde nicht in verschiedene Farben gebrochen. Diese Thatsache berechtigte ihren Entdecker zu dem Schlusse, daß das Licht jeder einzelnen Farbe überall dasselbe Brechungsverhältniß besitze, und daß jedes solches Licht ein gleichartiges oder einfaches sei, während das weiße Licht als ungleichartig oder zusammengesetzt angesehen werden müsse. Hiernach kommt dem weißen Lichte die Eigenschaft der verschiedenen Brechbarkeit seiner Strahlen zu. Die einzelnen Farben, so wie sie das Prisma hervorbringt, hei-

ßen Hauptfarben, und alle Mischungen oder Zusammensetzungen aus ihnen Nebenfarben, welche man durch die Brechung mittelst eines Prisma leicht in ihre Hauptfarben zerlegen kann.

§. 65.

Nachdem Newton auf diese Weise die Zusammensetzung des weißen Lichtes außer Zweifel gesetzt hatte, bewies er durch Versuche, daß die sieben Farben auch rückwärts wieder zu weißem Lichte sich vereinigen ließen. Er zeigte die Richtigkeit dieser Thatsache durch mehrfache Versuche; folgender Beweis ist jedoch so klar, daß es keiner weitern Bestätigungen bedarf. Man rücke den Schirm M^2N (Fig. 50) dem Prisma BAC allmählich näher, so wird das Farbenbild KL immer kleiner werden; obgleich indeß die Farben sich zu vermischen anfangen und in einander hineingreifen, so unterscheidet man dennoch, selbst wenn der Schirm auf der Fläche BA anlangt, die Farben, in welche das weiße Licht sich zerlegt. Nimmt man jetzt ein zweites Prisma BaA, von demselben Glase mit dem ersten, dessen Brechungswinkel ABa (das Prisma ist in der Figur durch punktirte Linien dargestellt) dem Brechungswinkel des ersten gleich ist, und bringt es in entgegengesetzter Lage gegen das erste, so werden die sieben auf das zweite Prisma fallenden Strahlen, in einen einzigen weißen Lichtstrahl gP verwandelt, der in P eine Lichtscheibe erzeugt, ganz so, als wenn gar kein Prisma vorhanden gewesen wäre. Dieselbe Wirkung zeigt sich, wenn die Prismen mit der Seite BA mittelst eines durchsichtigen Kittes, der mit dem Glase einerlei brechende Kraft hat, an einander geleimt werden, wodurch die Brechung an der gemeinschaftlichen Fläche AB gänzlich aufgehoben wird. In dieser Verbindung bilden die Prismen einen einzigen massiven Glaskörper BCAa mit den parallelen Seitenflächen AC und aB, und die Zersetzung des Lichtes durch die Brechung an der Vorderfläche AC hebt sich durch die gleiche, aber entgegengesetzte Brechung an der Hinterfläche aB auf; es wird also das durch die Vorderfläche zerlegte Licht durch die Hinterfläche wieder vereinigt. Die Zerlegung und Wiedervereinigung der Lichtstrahlen bei diesem Versuche zeigt sich deutlich, wenn man eine dicke Schicht Cassiaöl zwischen zwei parallele Glasplatten bringt und dann in sehr schräger Richtung einen dünnen Sonnenstrahl auffallen läßt; hier sieht man deutlich das von der Vorderfläche erzeugte Farbenbild, und die Wiedervereinigung der Farben durch die Hinterfläche. Auf solche

Weise wird denn der Umstand, daß eine Glasplatte mit parallelen Flächen das Licht unfarbig aus seiner Hinterfläche fahren läßt, ein genügender Beweis für die Wiedervereinigung der farbigen Lichtstrahlen.

Die Richtigkeit dieser Lehren kann man auch aus folgenden Versuchen sehen. Man vermische sieben zu Pulver zerstäubte Körper, welche die sieben Farben des prismatischen Bildes haben, in dem Verhältnisse, welches die farbigen Strahlen in dem Bilde einnehmen; die Mischung sieht grauweiß aus, und zwar deßhalb nicht rein weiß, weil es nicht möglich ist, die einzelnen Pulver in ihren gehörigen Farben zu erhalten. — Oder man theile eine Kreisscheibe in sieben Sectoren ab, die obigen Verhältnissen entsprechen, und bemale jeden mit der ihm zukommenden Farbe; setzt man dann die Scheibe auf einen Kreisel und dreht diesen rasch um, so verschmelzen die Farben mit einander zu Weißgrau.

§. 66.

Zersetzung des Lichtes durch Absorption.

Mißt man die Lichtmenge, die von Oberflächen reflectirt oder von transparenten Körpern durchgelassen wird, so findet sich diese immer kleiner als die vorhin auffallende Lichtmasse. Daraus folgt, daß beim Durchgange des Lichtes, selbst durch die allertransparentesten Körper, immer eine gewisse Menge Licht verloren geht. Dieser Lichtverlust hat eine doppelte Ursache; ein Theil des Lichtes wird nämlich in allerlei Richtungen durch eine unregelmäßige Reflexion der Oberfläche, welche theils nicht vollkommen polirt, theils nicht geebnet genug ist, zerstreut, während ein anderer und zwar in der Regel der bedeutendste Theil von den Moleculen des Körpers festgehalten oder absorbirt wird. Farbige Flüssigkeiten, wie schwarze und rothe Dinten, absorbiren, obgleich sie völlig homogen sind, verschiedene Arten von Lichtstrahlen und erhitzen sich im Sonnenlichte zu verschiedenen Graden, während reines Wasser alle Arten von Strahlen gleichmäßig durchzulassen scheint und sich im Sonnenlichte nur schwer erwärmt.

Bei einer genauern Untersuchung über die Absorption farbiger Flüssigkeilen und Gläser, ergeben sich mehre wichtige Phänomene, welche über diesen merkwürdigen Gegenstand viel Licht verbreiten.

Nimmt man ein blaues Glas, aus welchem mitunter Lorgnetten verfertigt werden, und läßt durch dasselbe einen weißen Lichtstrahl hindurchgehen, so erscheint dieser dunkelblau. Dieses Blau ist nicht ein-

fach und gleichartig, wie das Blau oder Indigo des Spectrums, sondern eine Mischung aus allen den Farben des weißen Lichtes, die das Glas nicht absorbirt hat, und die vom Glase verschluckten Farben sind diejenigen, die dem Blau fehlen, um Weiß zu geben, oder die dem Blau zugemischt weißes Licht erzeugen. Diese Farben erfährt man, indem man das prismatische Farbenbild **KL** (Fig. 50) durch blaues Glas gehen läßt, oder, was dasselbe ist, indem man das Auge hinter das Prisma **BAC** bringt und durch dasselbe die Sonne oder vielmehr eine im Fensterladen eines dunklen Zimmers angebrachte kreisrunde Oeffnung betrachtet, wo dann das Farbenbild **KL** eben so weit unter der Oeffnung erscheint, als es vorhin, wo es auf dem Schirme aufgefangen wurde, über dem Punkte **P** lag. Hält man dann das blaue Glas zwischen das Auge und das Prisma, so sieht man ein sehr merkwürdiges Spectrum, dem einige farbige Strahlen fehlen. Eine eigenthümliche Schwärze verschlingt die Mitte das Roth, alles Orange, einen großen Theil des Grün, einen beträchtlichen Theil des Blau, etwas Indigo und sehr wenig Violet. Das Gelb, welches nicht sehr absorbirt ist, hat an Breite zugenommen; auf der einen Seite nimmt es theilweise den Raum ein, den vorhin das Orange hatte, und auf der andern Seite einen Theil von dem Raume des Grün. Hieraus folgt, daß das blaue Glas das rothe Licht, welches mit dem Gelb vermischt Orange bildet, und auch das blaue Licht verschluckt hat, welches mit dem Gelb vermischt den Theil des Grün bilbet, der an das Gelb grenzt. Auf diese Weise zersetzt sich durch die Absorption das Grün in Gelb und Blau, das Orange in Gelb und Roth; es lassen sich also die orangen und gelben Strahlen des Prisma durch die Absorption zerlegen, obgleich sie bei der prismatischen Brechung als einfach erschienen, und sie bestehen aus zwei verschiedenen Farben, die denselben Grad der Brechbarkeit besitzen. Die Verschiedenheit der Farbe ist also kein Beweis der verschiedenen Brechbarkeit, und man darf die von Newton aufgestellte Behauptung: »dieselbe Farbe gehört demselben Grade der Brechbarkeit, und derselbe Grad der Brechbarkeit gehört immer derselben Farbe an,« nicht mehr als eine allgemeine Wahrheit ansehen.

Um eine vollständige Analyse des Farbenbildes zu erhalten, habe ich die von verschiedenen Körpern hervorgebrachten Farbenbilder und die Aenderungen derselben untersucht, die durch die Absorption entstehen,

wenn man sie durch gewisse farbige Media betrachtet. Es würde zu weitläufig sein, wenn ich diese Versuche hier genau detailliren wollte. Ich fand durch diese Untersuchungen, daß jeder Theil des Farbenbildes nicht bloß der Stärke, sondern auch der Farbe nach durch die Einwirkung gewisser Media verändert werden könne, und ich wurde zu dem Schlusse geleitet, daß das prismatische Spectrum aus drei Farbenbildern von gleicher Länge, einem rothen, gelben und blauen, bestehe. Diese rothe Grundfarbe hat ihre größte Stärke gegen die Mitte des Roth im prismatischen Sonnenbilde, die gelbe in der Mitte des Gelb und die blaue zwischen dem Blau und Indigo. Die schwächsten Stellen jedes Grundfarbenbildes liegen an den beiden Enden des Sonnenbildes.

Hieraus folgt:

1) In jedem Punkte des Sonnenbildes findet sich Roth, Gelb und Blau.

2) Da das weiße Licht aus einer gewissen Menge Roth, Gelb und Blau besteht, so kann man die Farbe jedes Punktes vom Farbenbilde als eine Mischung von der vorherrschenden Farbe dieses Punktes mit dem weißen Lichte ansehen. An der rothen Stelle findet sich mehr Roth als nöthig ist, um mit dem wenigen hier befindlichen Gelb und Blau Weiß zu geben; an der gelben Stelle hat man mehr Gelb als nöthig ist, um mit Roth und Blau Weiß zu geben; in dem blauen Raume, der violet aussieht, findet sich mehr Roth als Gelb, und der Ueberschuß des Roth gibt mit Blau die violette Farbe.

3) Absorbirt man in einem Punkte des Farbenbildes den Theil der hier vorherrschenden Farbe, den diese Stelle zu viel hat, um Weiß zu geben, so kann man in diesem Punkte ein weißes Licht herstellen, welches die merkwürdige Eigenschaft besitzt, selbst bei einer mehrmaligen Brechung weiß zu bleiben und nicht anders als durch Absorption zersetzt werden zu können. Es glückte mir, dieses Licht an verschiedenen Stellen des Farbenbildes herzustellen. Diese Entdeckungen stehen in auffallendem Zusammenhange mit der Annahme mehrer Physiker von drei Grundfarben, die wieder von vielen andern als unverträglich mit dem Phänomen des prismatischen Farbenbildes verworfen wurde.

In (Fig. 51) ist MN das prismatische Farbenbild, welches aus den drei Grundfarbenbildern von gleicher Länge, Roth, Gelb und Blau besteht, und die Art und Weise zeigt, wie durch ihre Verbin-

dung die sieben vom Prisma hervorgebrachten Nebenfarben entstehen. Das rothe Farbenbild hat seine größte Intensität im Punkte R; man kann diese Stärke durch den Abstand des Punktes R von MN repräsentiren. Diese Stärke nimmt schnell von M nach N zu ab und verschwindet in diesen Punkten. Das Gelb hat seine größte Intensität im Punkte G, und nimmt von G nach M und N zu bis Null ab; das Blau hat seine größte Stärke im Punkte B, und verschwindet gleichfalls allmählich abnehmend in den Punkten M und N. Die krumme Linie, welche das Totallicht darstellt, liegt außerhalb dieser drei krummen Linien, und die Ordinate irgend eines Punktes derselben ist der Summe der drei Ordinaten gleich, welche die einzelnen krummen Linien in diesem Punkte haben. So ist die Ordinate der allgemeinen Curve im Punkte G der Ordinate der gelben Curve, die wir = 10 annehmen wollen, und der Ordinate der rothen Curve, die hier = 2 sein kann, und der Ordinate der blauen Curve, welche an dieser Stelle = 1 sein kann, zusammengenommen gleich, hat also eine Länge von 13. Nimmt man also an, daß drei Theile Gelb, zwei Theile Roth und ein Theil Blau Weiß geben, so wird die Farbe in G = 3 + 2 + 1 sein oder aus 6 Theilen Weiß und 7 Theilen Gelb bestehen, so daß die Farbe in G als ein brillantes Gelb ohne Beimischung von Roth und Blau erscheint. Da diese Farben sämmtlich dieselbe Stelle im Farbenbilde einnehmen, so können sie von dem Prisma nicht getrennt werden, und hätte man ein farbiges Glas, welches 7 Theile Gelb absorbirte, so erhielte man im Punkte G ein durch das Prisma unzerlegbares Weiß.

Achtes Capitel.

Die Zerstreuung des Lichtes.

In den Untersuchungen des vorigen Capitels haben wir das Spectrum KL (Fig. 50) betrachtet als erzeugt durch ein brechendes Glasprisma vom gegebenen Brechungswinkel BAC. Der grüne Strahl gG, welcher, weil er in der Mitte zwischen gK und gE liegt, der mittlere Strahl des Farbenbildes heißt, wurde von P nach G, also um einen Abweichungswinkel PgG gebrochen, welcher die mittlere Brechung oder Abweichung des Prisma heißt. Eine Vergrößerung des Brechungswinkels BAC hat eine Vergrößerung der Abweichung zur Folge; der mittlere Strahl gG wird weiter von P gebrochen, und in demsel-

ben Verhältnisse werden auch die äußern Strahlen gK und gL weiter gebrochen; d. h. wird der mittlere Strahl gG doppelt so stark gebrochen, so werden auch die äußern Strahlen gK, gL doppelt so stark gebrochen, die Länge des Farbenbildes KL wird also doppelt so groß. Verkleinert man den Brechungswinkel BAC des Prisma, so verkleinert sich in demselben Verhältnisse das Farbenbild und die mittlere Brechung; es hat jedoch für jeden beliebigen Brechungswinkel das Prisma die Länge des Bildes zur mittlern Brechung einerlei Verhältniß.

Newton war der Meinung, daß Prismen, aus welcher Materie sie auch verfertigt sein möchten, Farbenbilder erzeugten, welche dasselbe Verhältniß zur mittlern Brechung hätten, als Glasprismen; und es ist sehr merkwürdig, daß einem so scharfsichtigen Geiste die einleuchtende Thatsache entging, daß verschiedene Körper Farbenbilder von verschiedener Länge erzeugen, obgleich die mittlere Brechung dieselbe ist.

Wir wollen annehmen, das Prisma BAC sei aus Kronglas verfertigt. Man nehme dann ein zweites von Flintglas oder weißem Krystallglase, und gebe ihm einen solchen Brechungswinkel, daß, wenn es in die Lage BAC gebracht wird, das Licht hindurchgehe, unter gleichen Winkeln ausfahre und den mittlern Strahl nach demselben Punkte G breche. Die beiden Prismen würden auf diese Weise dieselbe mittlere Brechung haben. Betrachtet man nun das von dem Prisma aus Flintglas erzeugte Farbenbild, so fällt dieses über K und L hinaus und ist augenscheinlich größer als das von dem Prisma aus Kronglas hervorgebrachte Bild. Man sagt daher von dem Flintglase, es habe eine größere zerstreuende Kraft als das Kronglas, indem es bei gleichem mittlern Brechungswinkel die Grenzstrahlen gK und gL weiter von dem mittlern Strahle gG entfernt, als Kronglas.

Um das wahre Maß der zerstreuenden Kraft eines Körpers besser darstellen zu können, wollen wir annehmen, der Brechungsexponent eines aus Kronglas verfertigten Prisma BAC sei für den äußersten violetten Strahl gK 1,5466 und für den äußersten rothen Strahl gL 1,5258, so würde die Differenz dieser beiden Zahlen 0,0208 das Maß der zerstreuenden Kraft des Kronglases sein, wenn dasselbe mit allen übrigen Körpern gleiche mittlere Brechung hat; da dies aber lange nicht der Fall ist, so muß die zerstreuende Kraft gemessen werden durch das Verhältniß zwischen 0,0208 und der mittlern Brechung 1,5330, oder dem Ueberschusse der mittlern Brechung über die Einheit 0,5330,

einer Größe, der die mittlere Brechung jederzeit proportional ist. Der größern Deutlichkeit halber wollen wir annehmen, man wolle die zerstreuenden Kräfte des Diamant und des Kronglases vergleichen. Der Brechungsexponent des Diamant für den äußersten violetten Strahl ist 2,467, für den äußersten rothen Strahl 2,411, und ihre Differenz 0,056 beinahe neun Mal so groß, als 0,0208, dieselbe Differenz für Kronglas; dagegen ist die Differenz des Einfalls- und Brechungswinkels oder die Größe, um welche der Brechungsexponent die Einheit übertrifft, nämlich 1,419, beinahe drei Mal so groß, als eben diese Differenz bei Kronglas, wo sie 0,533 ist; daraus folgt dann, daß die zerstreuende Kraft des Diamant nur wenig größer ist, als die des Kronglases. Es ist nämlich die zerstreuende Kraft

für Kronglas . . $\frac{0,0208}{0,533}$ oder 0,0386.

für Diamant . . $\frac{0,056}{1,439}$ oder 0,0388.

Man kann sich von dieser Gleichheit der zerstreuenden Kräfte des Diamant und Kronglases durch einen Versuch überzeugen, wenn man ein Prisma von Diamant von derselben mittlern Brechung mit dem grünen Strahle gG (Fig. 50) in die Lage BAC bringt. Das erzeugte prismatische Farbenbild hat dann einerlei Länge mit dem von Kronglas hervorgebrachten. Die schönen Farben also, die den Diamant unter allen Edelsteinen auszeichnen, rühren nicht von seiner großen zerstreuenden Kraft, sondern von seiner großen mittlern Brechung her.

Da die in der Tabelle der Brechungsexponenten mitgetheilten Zahlen sehr nahe für den mittlern Strahl des Farbenbildes gelten, so kann man aus der zweiten Spalte der im Anhange Nro. I. mitgetheilten Tafel für die zerstreuenden Kräfte der Körper näherungsweise die Brechungsexponenten für die äußersten rothen und violetten Strahlen finden; addirt man die Hälfte der in dieser Spalte befindlichen Zahl zum mittlern Brechungsexponenten, so hat man den Brechungsexponenten des violetten Strahls, und zieht man die Hälfte jener Zahl vom mittlern Brechungsexponenten ab, so gibt der Rest den Brechungsexponenten für den rothen Strahl. Die in der Tafel mitgetheilten Zahlen gelten indeß nur für das gewöhnliche Tageslicht; bedient man

sich des Sonnenlichtes und nimmt das Auge nicht die Strahlen aus der Mitte des Farbenbildes wahr, so kann man das Roth und Violet in einem bei weitem größern Abstande vom mittlern Strahle des Bildes erblicken.

Aus dem bekannten Brechungsexponenten des äußersten Strahles kann man die Lage und Länge der Farbenbilder bestimmen, die von Prismen verschiedener Substanzen erzeugt werden, wie auch der Brechungswinkel des Prisma, seine Lage oder der Abstand des das Bild auffangenden Schirmes beschaffen sein mag.

Nimmt man ein Prisma von Kronglas und ein zweites von Flintglas mit solchen Brechungswinkeln, daß die erzeugten Farbenbilder dieselbe absolute Länge haben, und bringt dann die Prismen mit ihren Brechungswinkeln in entgegengesetzte Richtungen, so wird der von ihnen gebrochene Lichtkegel nicht zu weißem Lichte, wie es der Fall gewesen sein würde mit zwei gleichen Prismen von Kronglas oder von Flintglas, sondern das weiße Licht **P** ist in diesem Falle an der einen Seite mit Purpur, an der andern mit Grün gefärbt. Dieses Farbenbild heißt das prismatische Nebenfarbenbild, so wie die Farben selbst Nebenfarben, die offenbar dadurch entstehen, daß die farbigen Räume des Bildes von Kronglas denen des Bildes von Flintglas nicht gleich sind.

Diese merkwürdige Eigenschaft eines Farbenbildes wird noch mehr ans Licht treten, wenn man zwei gleich lange Farbenbilder durch zwei hohle Prismen erzeugt, von denen das eine Cassiaöl, das andere Schwefelsäure enthält. Das von Cassiaöl erzeugte Farbenbild mag **AB** (Fig. 52), und das von der Schwefelsäure erzeugte **CD** sein. In dem ersten sind die rothen, orangen und gelben Räume kleiner, die blauen, indigo- und violetten Räume größer als im letztern; es sind also die am wenigsten brechbaren Strahlen in dem ersten gleichsam zusammengezogen und in dem zweiten auseinander getrieben, während die am meisten brechbaren Strahlen in dem ersten auseinander getrieben und in dem zweiten zusammengezogen sind. Dieser Unterschied der farbigen Räume bewirkt, daß der mittlere Strahl **mn** in beiden Farbenbildern nicht durch dieselbe Farbe geht; im Farbenbilde von Cassiaöl befindet er sich im Blau, im Bilde von der Schwefelsäure im Grün. Da auf diese Weise die farbigen Räume den Längen der Farbenbilder nicht proportional sind, so hat man diese Eigenschaft die

Irrationalität oder die Zerstreuung der farbigen Räume des Spectrums genannt.

Will man wissen, ob ein Prisma die brechbaren Strahlen mehr zusammenzieht oder auseinander treibt, als ein anderes, oder welches von beiden die meiste Wirkung auf grünes Licht hat, so nehme man von beiden Substanzen ein Prisma mit solchen Brechungswinkeln, daß das eine so viel als möglich die Zerstreuung des andern aufhebt, oder, was dasselbe ist, daß beide Bilder von gleicher Länge erzeugen. Diese Prismen stelle man so auf, daß ihre Brechungswinkel in umgekehrter Lage sich befinden; betrachtet man dann eine zur Basis des Prisma parallele Fensterstange durch dasselbe, so erscheinen seine Ränder völlig unfarbig, wenn beide Prismen auf das grüne Licht gleichmäßig wirken; thun sie dies aber nicht, so erscheint die Stange immer an der einen Seite mit einem purpurnen, an der andern mit einem grünen Rande, und der grüne Rand befindet sich immer an der Seite der Stange, an welcher sich der Rand des Prisma befindet, welches den gelben Raum zusammenzieht, den blauen und violetten auseinander treibt; bestehen die Prismen aus Flint- und Kronglas, so liegt der grüne Rand unter der Stange, wenn der Rand des Prisma von Flintglas nach unten gekehrt ist. Das Flintglas wirkt daher weniger als Kronglas auf das grüne Licht und zieht die rothen und gelben Räume zusammen. Vergl. Anhang Nro. II.

Neuntes Capitel.

Princip der achromatischen Fernröhre.

Bei der Entwickelung der Grundzüge über den Gang der Lichtstrahlen durch Linsen betrachteten wir das Licht als eine homogene Masse und setzten voraus, daß jeder Strahl mit demselben Einfallswinkel auch denselben Brechungswinkel habe, oder was dasselbe ist, daß jeder auf die Linse fallende Strahl einerlei Brechungsverhältniß habe. Die Betrachtungen der beiden vorigen Capitel haben uns jedoch gezeigt, daß dieses nicht so ist, sondern daß es z. B. beim Kronglas Strahlen gibt, die alle Mittelverhältnisse zwischen dem Brechungsexponenten des äußersten Roth 1,5258 und dem Brechungsexponenten des äußersten Violet 1,5466 haben. Da nun das Sonnenlicht, wodurch alle Naturkörper sichtbar werden, die weiße Farbe hat, so hat diese Eigenschaft des Lichtes, die verschiedene Brechbarkeit seiner einzelnen Theile nämlich, Einfluß auf jedes von einer Linse hervorgebrachte Bild.

Es sei **LL** (Fig. 53) eine Linse aus Kronglas; auf dieselbe fallen Strahlen weißen Lichtes **RL**, **RL** parallel zur Axe **Rr** ein. Da jeder weiße Lichtstrahl **RL** aus sieben verschiedenen farbigen Strahlen besteht, die verschiedene Brechbarkeit besitzen oder verschiedene Brechungsexponenten haben, so können offenbar alle sieben Strahlen, woraus **RL** besteht, nicht in derselben Richtung dergestalt gebrochen werden, daß sie in einen einzigen Punkt fallen. Die äußersten rothen Strahlen z. B. von **RL** und **RL**, welche den Brechungsexponenten 1,5258 besitzen, werden, wenn man sie nach der früher angegebenen Methode durch die Linse gehen läßt, ihren Brennpunkt in **r** haben, so daß **Cr** die Brennweite der Linse für rothe Strahlen wird. Die äußersten violetten Strahlen dagegen, deren Brechungsexponent 1,5466 größer ist, werden in einem Punkt **v** gebrochen, welcher näher an der Linse liegt, als **r**; **Cv** ist die Brennweite der Linse für violette Strahlen. Die Länge **vr** heißt die chromatische Aberration, und der Kreis, dessen Durchmesser die Linie **ab** ist, welche durch den Brennpunkt der mittlern brechbaren Strahlen geht, heißt der Kreis der kleinsten Aberration. Die Richtigkeit dieses Factums zeigt sich durch Versuche, wenn man auf die Linse **LL** Sonnenstrahlen fallen läßt; fängt man dann das Sonnenbild auf einem Blatte Papier auf, welches sich zwischen **C** und **o** befindet, so ist die Lichtscheibe auf dem Papiere mit einem rothen Rande umgeben, weil sie dann der Durchschnitt eines Lichtkegels **LabL** ist, dessen äußerste Strahlen **Ca** und **Lb** roth sind; rückt man aber das Papierblatt über **o** hinaus, so ist die Lichtscheibe violet gerändert, denn sie ist in diesem Falle der Durchschnitt des Lichtkegels **l'abl'**, dessen äußerste Strahlen **al'** und **bl'** als Verlängerungen von **Lv** und **Lv** violet sind. Indem sich die Aberration der Linse wegen der Kugelgestalt mit ihrer chromatischen Aberration verbindet, so nimmt man die Wirkung der letztern besser wahr, wenn man eine große Convexlinse **LL** nimmt, ihren centralen Theil bedeckt und rund herum einen schmalen Rand frei läßt, durch welchen die Lichtstrahlen gehen. Man sieht dann deutlich die Brechung der verschiedenen farbigen Strahlen, wenn man das Sonnenbild auf verschiedenen Seiten von **ab** betrachtet.

Hieraus ergibt sich, daß die Linse in **v** ein violettes, in **r** ein rothes Bild der Sonne, und in den Zwischenpunkten Bilder von den übrigen Farben des Spectrums erzeugen wird, so daß man, wenn

man das Auge hinter diese Bilder bringt, ein getrübtes Bild erblicken wird, welches nicht so rein und deutlich ist, als wenn es von einer einzigen Art von Strahlen hervorgebracht wäre.

Diese Gesetze gelten auch für die Brechung des weißen Lichtes durch eine Concavlinse, nur werden in diesem Falle die von einer einzigen Linse gebrochenen Parallelstrahlen dergestalt divergiren, als kämen sie von den vor der Linse liegenden Punkten v und r her.

Bringt man hinter die Convexlinse **LL** (Fig. 53) eine zweite, aber eine Concavlinse **GG** von demselben Glase und derselben Krümmung, so wird, weil v der virtuelle Brennpunkt der violetten und r der virtuelle Brennpunkt der rothen Strahlen ist, wenn man das auffangende Papierblatt in den Brennpunkt der mittlern brechbaren Strahlen **ab** bringt, wo die rothen und violetten Strahlen sich in **a** und **b** schneiden, das erzeugte Bild reiner als in jeder andern Lage des Papiers sein; und da Strahlen, die im Brennpunkte einer Concavlinse convergiren, in parallelen Richtungen gebrochen werden, so wird die Concavlinse die divergirenden Strahlen in die parallelen Richtungen **Gl** und **Gl** brechen, wo sie abermals weißes Licht geben. Die rothen und violetten Strahlen vereinigen sich dann in einen einzigen Strahl **Gl**, wovon man sich leicht durch eine Zeichnung überzeugen kann; dies ist jedoch auch klar, wenn man bedenkt, daß die beiden Linsen **LL** und **GG** ein paralleles Glas bilden, indem die äußere concave Fläche der Linse **GG** mit der äußern convexen Fläche von **LL** parallel ist.

§. 67.

Auf solche Weise ist freilich mit der zweiten Linse **GG** der von der ersten Linse **LL** hervorgebrachte Farbenrand wieder vernichtet; allein diese Linsenverbindung nützt nichts, weil sie wie ein Planglas wirkt und keine Bilder hervorbringen kann. Hat indeß die Linse **GG** eine größere Brennweite als **LL**, so wirkt die Zusammenstellung wie eine Convexlinse und erzeugt Bilder hinter sich, weil dann die Strahlen **Gl** und **Gl** in einem Brennpunkte hinter **LL** convergiren. Dann ist aber auch die chromatische Aberration von **GG** kleiner als die von **LL**, und die eine hebt die andere nicht auf, sondern die Differenz der beiden Aberrationen bleibt. Daraus ist die Unmöglichkeit ersichtlich, mit zwei Linsen von demselben Glase ein farbloses Bild zu erzeugen. Da nun Newton der Meinung war, daß alle Substan-

zen, wenn man Linsen aus ihnen verfertigt, diese Menge von Farbe bildeten oder einerlei chromatische Aberration hätten, so mußte er nothwendig auf den Gedanken kommen, es sei überhaupt unmöglich, durch eine Verbindung von einer Concav- mit einer Convexlinse ein Bild ohne Farbenrand zu erhalten; wir haben jedoch vorhin schon gezeigt, daß die Gründe, worauf dieser Schluß beruht, nicht richtig sind, indem verschiedene Körper verschiedene zerstreuende Kraft besitzen oder verschiedene Mengen von Farbe bei derselben mittlern Brechung hervorbringen. Darnach können Linsen von verschiedenen Substanzen dieselbe Menge von Farbe geben, obgleich sie ungleiche Brennweiten haben; ist die Linse LL von Kronglas, dessen Brechungsexponent 1,519 und dessen zerstreuende Kraft 0,036 ist, und die Linse GG von Flintglas, welches den Brechungsexponenten 1,589 und die zerstreuende Kraft 0,0393 hat, und gibt man der Convexlinse aus Kronglas die Brennweite von $4\frac{1}{3}$ Zoll, der Concavlinse aus Flintglas die Brennweite von $7\frac{2}{3}$ Zoll, so geben beide eine Linse von 10 Zoll Brennweite, welche das weiße Licht in einen farblosen Brennpunkt bricht. Eine solche Linse heißt eine achromatische Linse, und wenn man sich ihrer zu einem Fernrohre mit einem andern Glase zur Vergrößerung des von der Linse erzeugten einfarbigen Bildes entfernter Objecte bedient, so hat man das achromatische Fernrohr, eine der schönsten Erfindungen des vorigen Jahrhunderts. Newton hatte freilich, sich stützend auf seine unvollkommenen Kenntnisse der zerstreuenden Kraft verschiedener Substanzen, vorher verkündigt, daß eine solche Entdeckung unmöglich sei; er war aber nur erst kurze Zeit aus dem Leben geschieden, als sie von Hall und dann von Dollond wirklich gemacht wurde; der letztere brachte sie zugleich auf einen hohen Grad von Vollkommenheit.

Das von einer solchergestalt zusammengesetzten achromatischen Linse erzeugte Bild würde vollkommen gewesen sein, wenn die von Kron- und Flintglas erzeugten gleichen Farbenbilder auch in allen ihren Theilen ähnlich gewesen wären; da jedoch nach dem Obigen die farbigen Räume des einen denen des andern nicht gleich sind, so bleibt das Nebenfarbenbild, und alle durch eine solche Linse betrachteten leuchtenden Objecte sind auf der einen Seite mit einem purpurnen, auf der andern mit einem grünen Rande behaftet. Könnte man zwei Substanzen von verschiedenen zerstreuenden und brechenden Kräften auffinden, die zu-

gleich die Eigenschaft hätten, die Farbenbilder in allen ihren einzelnen farbigen Räumen gleich zu machen, so würde man eine vollkommene achromatische Linse haben. Solche Körper kennt man jedoch nicht, und deßhalb suchten die Physiker dieser Unvollkommenheit auf andere Weise abzuhelfen. Blair gebührt das Verdienst, diese Schwierigkeit beseitigt zu haben; er fand, daß Kochsalzsäure (Chlorwasserstoffsäure) die Eigenschaft besaß, ein Hauptfarbenbild zu geben, worin die grünen Strahlen zu den brechbarsten gehören, fast wie CD (Fig. 52), eben so wie für Kronglas. Da aber die Kochsalzsäure eine zu geringe brechende und zerstreuende Kraft besitzt, als daß man sich ihrer zu einer Concavlinse in Verbindung mit einer Convexlinse aus Kronglas bedienen könnte, so kam er auf die Idee, ihre brechende und zerstreuende Kraft dadurch zu vermehren, daß er ihr metallische Stoffe, wie kochsalzsaures Antimon, beimischte, und es zeigte sich, daß dies geschehen konnte, ohne das Gesetz der Zerstreuung oder das Verhältniß der farbigen Räume des Farbenbildes zu stören. Er füllte den Raum LL (Fig. 54) zwischen zwei Convexlinsen aus Kronglas AB und CD mit salzsaurem Antimon, und es glückte ihm, die Parallelstrahlen RA und RB dergestalt in einen Brennpunkt F zu brechen, daß keine Spur einer Nebenfarbe mehr vorhanden war. Ehe er diese Eigenschaft der Kochsalzsäure entdeckte, hatte er eine andere, complicirtere Verbindung zu diesem Zwecke gemacht: da er indeß die erstere Verbindung vorzog und zu seinen bessern aplanatischen Gläsern anwandte, so glauben wir über diesen Gegenstand uns der weitern Erörterungen enthalten zu können.

Wir haben hierbei vorausgesetzt, daß die zusammengesetzten Linsen keine Aberration wegen der Kugelgestalt haben; obgleich dies indeß der Fall ist, so ist dennoch möglich, durch eine gut eingerichtete Verbindung von concaven und convexen Flächen die sphärische und chromatische Aberration der Linsen aufzuheben.

Bei einer Untersuchung der Nebenfarbenbilder, die verschiedene Verbindungen hervorbrachten, fand ich, daß zwei Prismen eine Brechung ohne Farbe hervorzubringen im Stande sind, und daß zwei Linsen das weiße Licht in einen einzigen Brennpunkt brechen können, wenn auch die Linsen oder Prismen aus derselben Glassorte gemacht sind. Wenn ein Prisma von einem verschiedenen Brechungsmittel solchergestalt die Farbenzerstreuung eines andern Prisma aufhebt, so entsteht ein zweites Nebenfarbenbild (ein tertiäres Spectrum), welches von den Winkeln

abhängig ist, unter denen das Licht von den beiden Flächen der Prismen gebrochen wird (s. die Beschreibung neuer physikalischer Instrumente von Brewster).

Zehntes Capitel.

Physische Eigenschaften des Spectrums.

§. 68.

Existenz fester Linien im Farbenbilde.

Im vorigen Capitel haben wir nur die allgemeinen Eigenschaften das Farbenbildes betrachtet, auf denen die Construction achromatischer Linsen beruhet; wir wollen jetzt einen allgemeinen Begriff von dessen physischen Eigenschaften geben.

Im Jahre 1802 kündigte Wollaston an, daß in dem Farbenbilde eines aus reinem Flintglase verfertigten Prisma, wenn das leuchtende Object ein $\frac{1}{20}$ Zoll breiter Streifen sei und in einer Entfernung von 10 bis 12 Fuß gesehen würde, zwei dunkle feste Linien vorhanden seien, die eine im Blau, die andere im Grün. Diese Entdeckung wurde jedoch von Niemanden beachtet und selbst von Wollastor nicht weiter untersucht.

Ohne Wollaston's Bemerkungen zu kennen, entdeckte der berühmte Fraunhofer zu München, als er das mittelst vorzüglicher Prismen aus Flintglase gebildete Farbenbild eines dünnen und reinen Sonnenstrahls durch ein Fernrohr betrachtete, daß die Fläche des Spectrums in seiner ganzen Länge von dunkeln Streifen verschiedner Breite durchzogen war. Keiner derselben fällt mit dem Ganzen der farbigen Räume zusammen; die Zahl derselben beträgt an 600 und der größte nimmt einen Raum von 5 bis 10 Secunden ein. Fraunhofer bemerkte vorzugsweise sieben dieser Linien B, C, D, E, F, G, H (Fig. 55), welche deutlich zu sehen und leicht zu finden sind. B liegt im Roth nahe an dessen äußerem Rande; C ist ein breiter und dunkler Streifen und liegt über die Mitte des Roth hinaus; D liegt im Orange, und ist ein dicker, deutlicher, doppelter Streifen, dessen beide Theile fast von einerlei Größe und durch einen glänzenden Streifen getrennt sind; E befindet sich im Grün und besteht aus mehren Linien, von denen die mittelste die stärkste ist; F ist eine sehr deutliche Linie im Blau; G liegt im Indigo und H im Violett. Außer diesen finden sich noch andere vor, die bemerkt zu werden verdienen. In a fin-

det sich im Roth eine dunkle gut markirte Linie, und in der Mitte zwischen a und B sieht man eine Gruppe von 7 bis 8 Linien, die zusammen einen dunklen Streifen bilden. Zwischen B und C befinden sich 9 Linien, zwischen C und D 30, zwischen E und D 84 von verschiedener Größe, zwischen E und b 24; in b finden sich drei stark gezeichnete Linien mit einem sehr hellen Raume zwischen den beiden stärksten von ihnen; zwischen F und b hat man 52, zwischen F und G 185, zwischen G und H 190, wobei ihrer mehrere in G vereinigt sind.

Man unterscheidet diese Linien eben so leicht in den Farbenbildern, die von sämmtlichen flüssigen und festen Körpern hervorgebracht werden, und wie auch die Längen des Spectrums sowie der farbigen Räume beschaffen sein mögen, die Linien haben immer dieselbe Lage hinsichtlich der Grenzen der farbigen Räume, weßhalb denn auch ihre proportionalen Entfernungen je nach der Beschaffenheit des sie erzeugenden Prisma verschieden sind. Ihre Anzahl indessen, ihre gegenseitige Lage und ihre Intensität sind unveränderlich für direct oder indirect von der Sonne kommendes Licht *). In dem Lichte der Fixsterne und Planeten, so wie in dem Lichte farbiger Flammen und des elektrischen Funken nimmt man ähnliche Streifen wahr.

Die Farbenbilder des Mars und der Venus haben die Linien D, E, b und F, wie das Sonnenlicht, und zwar in derselben Lage. Das Farbenbild des Sirius hat im Gelb und Orange keine, dagegen im Grün einen sehr stark gezeichneten und im Blau zwei Streifen; diese gleichen jedoch nirgends den Linien vom Planetenlichte. Das Farbenbild des Castor gleicht ganz dem des Sirius; der Streifen im Grün findet sich an derselben Stelle, die Linien im Blau sah Fraunhofer gleichfalls, ohne sich jedoch über ihre Lage entscheiden zu können. Pollux gibt mehre schwache oder feste Linien, die denen der Venus gleichen; so z. B. war die Linie D an derselben Stelle wie beim Planetenlichte. Im Farbenbilde der Ziege sind die Linien D und b wie beim Sonnenlichte. Das Farbenbild des Beteigeuze enthält zahlreiche feste gut markirte Linien, von denen sich D und b genau an denselben Stellen finden wie beim Sonnenlichte; es gleicht dem Farbenbilde der Venus. Im Farbenbilde des Procyon sah

*) Im Mondlichte fand Fraunhofer dieselben Linien.

Fraunhofer die Linie D im Orange; außerdem bemerkte er noch viele andere Linien, deren Lage er aber nicht genau bestimmen konnte. Im Farbenbilde des elektrischen Lichtes gibt es viele sehr glänzende Linien. Das Farbenbild einer Lampenflamme enthält keine der festen und dunkeln Linien des Sonnenfarbenbildes; dagegen findet sich im Orange eine glänzende Linie, die deutlicher als das übrige Farbenbild ist; sie ist doppelt und befindet sich an der Stelle von D im Sonnenfarbenbilde. Das Farbenbild einer Löthrohrflamme enthält mehre deutliche und helle Linien *).

§. 69.

Der wichtigste Nutzen, den die Entdeckung dieser festen Linien im Farbenbilde für die Praxis hat, besteht darin, daß sie uns Mittel an die Hand geben, die zerstreuenden und brechenden Kräfte der Körper auf das schärfste zu messen. Durch die Bestimmung der Entfernungen zwischen den Linien B, C, D u. s. w. berechnete Fraunhofer die Brechungsexponenten verschiedener Substanzen, welche im Anhange Nr. III. beschrieben sind. Aus diesen Zahlen findet sich dann das Verhältniß der zerstreuenden Kräfte zweier Substanzen nach der oben erläuterten Methode.

§. 70.

Grad der Helligkeit des Farbenbildes.

Von Fraunhofer wußte man den Grad der Helligkeit verschiedener Theile des Farbenbildes nur näherungsweise zu bestimmen; Fraunhofer erhielt mit Hilfe eines Photometers folgende Resultate.

Das Maximum von Helligkeit ist im Punkte M (Fig. 55), welcher Punkt so liegt, daß DM sehr nahe $\frac{1}{3}$ oder $\frac{1}{4}$ von DE beträgt, sich also in der Grenze des Gelb und Orange befindet. Nennt man dies Maximum von Helligkeit im Punkte M 100, so bestimmt sich der Grad von Helligkeit in den übrigen Punkten durch die Zahlen:

Helligkeit im äußersten Roth .	0,00
" " in B	3,20
" " in C	9,40
" " in D	64,00
Maximum von Helligkeit in M	100,00
Helligkeit in E	48,00

*) Edinburgh Journal of the sciences No. XV. pag. 7.

Helligkeit in F	. . . .	17,00
= = in G	. . . .	3,10
= = in H	. . . .	0,56
= = im äußersten Violett	.	0,00

Setzt man die Intensität des Lichtes in dem hellsten Raume DE = 100, so ist die Lichtstärke an den übrigen Stellen nach Fraunhofer:

Lichtstärke in	BC . .	2,10
= = =	CD . .	29,90
= = =	DE . .	100,00
= = =	EF . .	32,80
= = =	FG . .	18,50
= = =	GH . .	3,50

Hieraus ergibt sich, daß in dem von Fraunhofer untersuchten Farbenbilde der am meisten leuchtende Strahl näher am Roth als am Violett, und zwar im Verhältnisse von 1 zu 3,50 liegt, und daß der mittlere leuchtende Strahl fast in die Mitte des Blau fällt. Da man jedoch unter den gewöhnlichen Umständen einen großen Theil von dem äußersten violetten Ende des Farbenbildes nicht sieht, so dürfen diese Resultate auf solche Fälle nicht angewendet werden.

§. 71.

Wärmekraft des Farbenbildes.

Früherhin glaubten die Physiker, daß die Wärmekraft der Farbenbilder der Lichtmasse proportional sei, und Landriani, Rochon und Sennebier hatten gefunden, daß das Gelb der wärmste der farbigen Räume sei. Herschel zeigte jedoch durch eine Reihe von Versuchen, daß die Wärmekraft von dem äußersten violetten nach dem äußersten rothen Ende stufenweise zunehme, daß sogar das Thermometer noch zu steigen fortfahre, wenn es schon über das äußerste Roth des Farbenbildes, wo gar kein Licht mehr wahrzunehmen ist, hinaus war.

Er zog daraus den wichtigen Schluß, daß es im Sonnenlichte unsichtbare wärmende Strahlen gebe, die einen kleinern Grad von Brechbarkeit besitzen als das rothe Licht. Herschel suchte sich von dem Grade der Brechbarkeit dieses äußersten Wärmestrahls zu überzeugen, fand jedoch, daß dies unmöglich war, und begnügte sich deshalb mit der Bestimmung, daß in einem

Punkte, der $1\frac{1}{2}$ Zoll von der Grenze des Roth entfernt war, die unsichtbaren Strahlen eine bedeutende Wärme hatten, selbst wenn das Thermometer 52 Zoll vom Prisma entfernt war.

Engelfield bestätigte Herschel's Angaben durch folgende Resultate:

Blau hat die Temperatur von 56°
Grün „ „ „ „ „ 58°
Gelb „ „ „ „ „ 62°
Roth „ „ „ „ „ 72°
Außerhalb des Roth „ „ 79°

Wurde das Thermometer, welches außerhalb des Roth auf 79° gestanden hatte, wieder ins Roth gesetzt, so fiel es auf 72° zurück.

Berard fand ähnliche Resultate; nur lag nach seinen Untersuchungen des Maximum von Wärme in der äußern Grenze der rothen Strahlen selbst, wenn diese noch die Thermometerkugel ganz bedeckten; über das Roth hinaus fand er die Wärme nur um ein Fünftel größer als die Wärme der umgebenden Luft.

Davy schrieb die Resultate Berard's dem Umstande zu, daß dieser Gelehrte sich zu großer Thermometer, und auch der Thermometer mit runden Kugeln bediente. Er wiederholte den Versuch in Italien und in der Schweiz mit sehr dünnen Thermometern von $\frac{1}{12}$ Zoll im Durchmesser, deren Kugeln sehr länglich und mit Luft gefüllt waren, die von einer farbigen Flüssigkeit gesperrt wurde. Sein Resultat bestätigten die Versuche von Herschel. *)

Seebeck hat diesen Gegenstand neuerdings weiter geprüft und gefunden, daß der Ort der größten Wärme des Farbenbildes nach der Materie, woraus man das Prisma verfertigte, verschieden ist. Seine Resultate sind folgende:

Substanz des Prisma.	Farbiger Raum des Maximums von Wärme.
Wasser	Gelb
Weingeist	Gelb
Terpentinöl	Gelb
Concentrirte Schwefelsäure	Orange
Salmiakauflösung	Orange
Aetzendes Sublimat	Orange
Kronglas	Mitte von Roth
Weißes Glas	Mitte von Roth
Flintglas	Ueber das Roth hinaus

*) Edinburger Encyklop. Band X. S. 69.

Die Versuche mit Alkohol und Terpentinöl sind nicht von Seebeck, sondern von Wünsch.

§. 72.

Chemische Wirkung des Farbenbildes.

Schon vor langer Zeit hatte Scheele die Bemerkung gemacht, daß salzsaures Silber in dem violetten Raume des Farbenbildes stärker als in jeder andern Farbe des Farbenbildes geschwärzt würde, als Ritter zu Jena bei Wiederholung der Herschelschen Versuche die Entdeckung machte, daß das salzsaure Silber außerhalb des violetten Endes des Farbenbildes in sehr kurzer Zeit schwarz wurde. Weniger schwarz wurde es im Violet, noch weniger im Blau, und so immer weniger bis zum rothen Ende.

Brachte er ein etwas geschwärztes salzsaures Silber ins Roth, so wurde seine Farbe beinahe wiederhergestellt, und noch mehr geschah dieses, wenn er dasselbe in die unsichtbaren Strahlen außerhalb des rothen Endes brachte. Er schloß daraus, im Sonnenfarbenbilde gäbe es zwei Arten von unsichtbaren Strahlen, die eine außer dem rothen Ende, welche die Oxygenation, die andere am violetten Ende, welche die Desoxygenation befördere. Zugleich fand Ritter, daß Phosphor in den unsichtbaren rothen Strahlen weiße Dämpfe ausstieß, während er sich in den unsichtbaren violetten Strahlen in einem Zustande von Oxygenation augenblicklich entzündete.

Seebeck wiederholte den Versuch mit salzsaurem Silber, und fand, daß dessen Farbe sich mit dem Raume änderte, in welchem es sich befand. Außerhalb und in dem Violett war es röthlichbraun, im Blau war es blau oder bläulichgrau, im Gelb reinweiß oder weiß mit einem schwachen Striche ins Gelbliche, in und außer dem Roth war es roth. Bei Prismen aus Flintglas war das salzsaure Silber außerhalb der Grenzen des Farbenbildes entschieden gefärbt.

Ohne die Ritter'schen Versuche zu kennen, erhielt Wollaston dasselbe Resultat der Einwirkung des violetten Lichtes auf salzsaures Silber. Bei fortgesetzten Versuchen entdeckte er auch einige chemische Wirkungen des Lichtes auf Guayac-Gummi. Er lösete ein wenig von diesem Gummi in Alkohol auf, tränkte darin eine Pappe und brachte diese in die farbigen Strahlen des Farbenbildes; es war nicht die mindeste Veränderung der Farbe wahrzunehmen. Er nahm hierauf eine Linse von 7 Zoll im Durchmesser, und bedeckte den centralen Theil

dergestalt, daß nur ein Ring von $\frac{1}{10}$ Zoll im Umfange frei blieb, wodurch er die Strahlen jeder Farbe in einen Brennpunkt vereinigen konnte, indem die Brennweite sehr nahe 24 Zoll für das Gelb betrug. Hierauf ward die mit Guayac getränkte Karte in kleine Stücke zerschnitten, welche man in die von der Linse concentrirten verschiedenen farbigen Strahlen brachte. Im Violett und Blau nahmen sie eine grüne Farbe an. Im Gelb wurde keine Veränderung wahrgenommen. Im Roth erhielten die vorhin grün gewordenen Stücke ihre natürliche Farbe wieder.

Wurde die mit Guayac getränkte Pappe in kohlensaures Gas gesetzt, so konnte man ihr keine grüne Farbe mittheilen, in welcher Entfernung sie sich auch von der Linse befinden mochte; die rothen Strahlen verwandelten dagegen gleichfalls ihre grüne Farbe in die gelbe.

Auch fand Wollaston, daß der Rücken eines erhitzten silbernen Löffels die grüne Farbe eben so zerstörte, wie die rothen Strahlen es thun.

§. 73.

Magnetische Kräfte der Sonnenstrahlen.

Vor länger als 20 Jahren zeigte Morichini, daß die violetten Strahlen des Sonnenspectrums die Kraft besäßen, gänzlich unmagnetische Eisenstücke zu magnetisiren. Er vereinigte zu dem Ende die violetten Strahlen in den Brennpunkt einer Convexlinse, und ließ dann diesen Brennpunkt von der Mitte der Stahlnadel aus nach ihren beiden Endpunkten zu gleiten, ohne diese andere Hälfte zu berühren. Nachdem er diese Operation eine Stunde lang fortgesetzt hatte, besaß die Nadel vollkommene Polarität. Carpa und Rudolfi wiederholten den Versuch mit völligem Erfolge, und Morichini magnetisirte mehre Nadeln in Gegenwart von Davy, Playfair und anderer englischer Gelehrten. Als aber Berard zu Montpellier, Dhombre-Firmas zu Alais und Configliachi zu Pavia diese Wirkung des Lichtes nicht darstellen konnten, erhoben sich einige Zweifel gegen die Sache.

Erst vor wenigen Jahren wurde die Richtigkeit des Morichini'schen Versuches durch einige sinnreiche Experimente von Sommerville außer Zweifel gesetzt. Dieser bedeckte die Hälfte einer beinah einen Zoll langen Nähnadel, die völlig unmagnetisch war, mit Papier, und setzte die unbedeckte Hälfte den violetten Strahlen aus; nach zwei Stunden war die Nadel magnetisirt, und das den Strahlen ausgesetzte Ende war der Nordpol. Die indigofarbnen Strahlen brachten fast die-

selbe Wirkung hervor, die blauen und grünen in einem geringeren Maße. Brachte man die Nadel in die gelben, orangen, rothen Strahlen oder über die rothen Strahlen hinaus, so erhielt sie nicht den mindesten Magnetismus, selbst wenn sie den Strahlen drei Tage lang ausgesetzt war. Stücke von Uhrfedern gaben dieselbe Wirkung; die Nadeln und Stahlfedern wurden rascher magnetisirt, wenn man die violetten Strahlen mit einer Linse concentrirte. Der genannte Physiker erhielt ein gleiches Resultat, wenn er auf die zur Hälfte mit Papier bedeckten Nadeln die Sonnenstrahlen durch ein mit Kobalt blau gefärbtes Glas fallen ließ. Ein grünes Glas hatte dieselbe Wirkung. Ein blaues oder grünes Band, durch welches die Sonnenstrahlen hindurchgingen, zeigte denselben Effect wie ein gefärbtes Glas. Ließ man die halbbedeckten Nadeln einen Tag über in den Sonnenstrahlen hinter einer Fensterscheibe liegen, so wurden die freien Enden zu Nordpolen, wie vorhin.

Baumgartner in Wien entdeckte bei Wiederholung des Sommerville'schen Versuches, daß eine Stahlnadel, die stellenweise polirt und in den übrigen Stellen ohne Glanz war, in dem weißen Sonnenlichte magnetisch wurde, wobei an jedem polirten Ende ein Nordpol, an jedem unpolirten Ende ein Südpol zum Vorschein kam. Der Effect ging rascher vor sich, wenn man die Sonnenstrahlen concentrirt auf die Nadel fallen ließ. Er erhielt auf solche Weise an einem Stahldrahte von 8 Zoll Länge 8 Pole. Vollkommen oxydirte, vollkommen polirte oder auch solche Nadeln, die ihrer ganzen Länge nach polirte Streifen hatten, konnte er nicht magnetisiren.

Um dieselbe Zeit fand Christie zu Woolwich, daß wenn eine Magnetnadel oder auch eine Kupfer- oder Glasnadel durch die Drehkraft im weißen Sonnenlichte vibrirte, der Vibrationswinkel schneller in der Sonne, als im Schatten abnahm; bei der Magnetnadel war diese Wirkung bedeutender. Er schloß daraus, daß die Sonnenstrahlen einen sehr merklichen magnetischen Einfluß besäßen.

Diese Resultate wurden durch die Versuche von Barlocci und Zantedeschi vollkommen bestätigt. Barlocci fand, daß ein natürlicher armirter Magnet, der $1\frac{1}{2}$ römische Unze trug, beinahe die doppelte Kraft erhielt, wenn er 24 Stunden lang starkem Sonnenlichte ausgesetzt wurde. Zantedeschi fand, daß ein hufeisenförmiger Magnet, welcher $13\frac{1}{2}$ Unze trug, $3\frac{1}{2}$ Mal mehr tragen konnte, wenn er 3

Tage lang dem Sonnenlichte ausgesetzt war, und daß er endlich 31 Unzen trug, wenn er im Sonnenlichte blieb. Er fand auch, daß während die Kraft in oxydirten Magneten sich vermehrte, sie sich in nicht oxydirten verminderte und daß diese Verminderung bei sehr gut polirten Magneten unmerklich war. Er concentrirte hierauf die Sonnenstrahlen auf einen Magnet mittelst einer Linse und fand, daß oxydirte und polirte Magnete an Kraft gewannen, wenn ihr Nordpol den Sonnenstrahlen ausgesetzt war, daß sie dagegen an Kraft verloren, wenn man ihren Südpol dem Sonnenlichte aussetzte; dabei betrug die Vermehrung im ersten Falle mehr, als die Verminderung im zweiten. Zantedeschi wiederholte auch die Versuche von Christie mit Nadeln, die im Sonnenlichte vibriren, und fand, daß wenn man den Nordpol einer einen Fuß langen Magnetnadel dem Sonnenlichte aussetzte, die halbe Weite der letzten Schwingung um 60 Grad kleiner war als die erste, und daß, wenn man den Südpol aussetzte, die letzte Schwingung größer als die erste wurde. Zantedeschi gesteht jedoch, bei seinen Versuchen oft auf Anomalien gestoßen zu sein, die sich nicht wohl darstellen ließen *).

So sehr auch diese Versuche dafür zu sprechen scheinen, daß das weiße und violette Licht magnetische Kraft besitzen, so haben doch neuerlich Rieß und Moser **) eine Reihe von Versuchen mitgetheilt, die mit großer Umsicht vorgenommen zu sein scheinen, und die einigen Zweifel an den Beobachtungen der eben genannten Physiker erregen. Sie bestimmen in diesen Versuchen die Anzahl der Schwingungen, die eine Magnetnadel in einer bestimmten Zeit machte, bevor und nachdem sie in die violetten Strahlen gesetzt worden war. Der Brennpunkt violetten Lichtes, welches mit einer Linse von $1\frac{1}{5}$ Zoll Durchmesser und $2\frac{3}{10}$ Zoll Brennweite concentrirt war, durchlief 200 Mal die Hälfte einer Nadel, und obgleich dieser Versuch mit verschiedenen Nadeln, zu verschiedenen Jahreszeiten und zu verschiedenen Tagesstunden angestellt wurde, so war doch die Dauer einer bestimmten Zahl von Schwingungen fast genau dieselbe vor wie nach dem Versuche. Da ihre Bemühungen, die Resultate des Baumgartner'schen Versuches zu bewähren, gleichfalls fruchtlos waren, so glaubten sie sich genöthigt zu der gänzlichen Verwerfung einer Entdeckung,

*) Edinburgh Journ. of scienc. New series, No. V. pag. 76.
**) Dasselbe No. IV. pag. 225.

die während 17 Jahren zu wiederholten Malen die Wissenschaft gestört hat. Die geringen Verschiedenheiten bei einigen ihrer Versuche können, wie sie sagen, keine reelle Wirkung von der Art sein, wie die von Morichini, Baumgartner u. s. w. auf eine so bestimmte und entschiedene Weise wahrgenommene.

Elftes Capitel.

Die Inflexion des Lichtes.

§. 74.

Nachdem wir die Veränderungen des Lichtes durch seine Brechung an den Oberflächen transparenter Körper, so wie dessen Eigenschaften bei der Zersetzung in seine Elemente gezeigt haben, gehen wir zu den Erscheinungen fort, die es darbietet, wenn es dicht am Rande der Körper vorbeigeht. Dieser Theil der Optik führt den Namen der Lehre von der Inflexion, Diffraction oder Beugung des Lichtes.

Dieser merkwürdigen Eigenschaft des Lichtes erwähnte zuerst Grimaldi im Jahre 1665, nach ihm Newton; eine vollständige und glücklichere Untersuchung derselben stellte jedoch zuerst Fresnel an.

Um die Einwirkung der Körper auf das dicht an ihnen vorbeigehende Licht wahrzunehmen, befestige man eine Linse LL (Fig. 56) von einem sehr kurzen Brennpunkte in dem Fensterladen MN eines dunklen Zimmers, und lasse dann einen Sonnenstrahl RLL durch die Linse in das Zimmer fallen. Dieses Licht wird sich in einem Brennpunkte F vereinigen, und von hier aus in den Richtungen FC und FD divergiren, indem es eine kreisförmige Scheibe auf der gegenüberstehenden Mauer bildet. Hätte man in den Fensterladen ein sehr kleines Loch von etwa $\frac{1}{40}$ Zoll Durchmesser statt der Linse gemacht, so würde man fast dieselbe divergirende Lichtmasse erhalten haben. Die Schatten sämmtlicher Körper, die man diesem Lichte entgegen hält, findet man von 3 Fransen umgeben, die vom Schatten an folgende Farben haben:

Erste Franse: violet, indigo, blaßblau, grün gelb, roth;

Zweite Franse: blau, gelb, roth;

Dritte Franse: blaßblau, blaßgelb, blaßroth.

Man kann diese Fransen auf einer weißen glatten Fläche auffangen, wie Newton es that, oder sie nach Fresnel's Methode durch ein Vergrößerungsglas betrachten, als wären sie die Bilder einer Linse. Die letztere Methode ist unstreitig besser, weil der Beobachter dann die

Fransen messen, und ihre Veränderungen unter verschiedenen Umständen wahrnehmen kann.

Hat man den Körper B in dem Abstande BF vom Brennpunkte aufgestellt und seinen Schatten auf einem in bestimmter Entfernung vom Körper befindlichen Schirme aufgefangen, so nimmt man folgende Erscheinungen wahr:

1) Wie auch der Körper B rücksichtlich seiner Dichtigkeit und brechenden Kraft beschaffen sein mag, ob er Platina oder das Mark des Schilfrohrs, Tabasheer oder chromsaures Blei ist, die seinen Schatten umgebenden Fransen haben immer dieselbe Farbe und Größe, und die Farben sind die vorhin genannten.

2) Ist der Lichtstrahl RC das gleichartige Licht einer einzelnen Farbe des Spectrums, so haben die Fransen mit dem Lichtstrahle RC einerlei Farbe; sie sind dann für das rothe Licht breiter, für das violette schmaler und ihre Breite fällt für die Mittelfarben zwischen diese beiden Grenzen.

3) Läßt man den Körper B an seiner Stelle, rückt aber den Schirm CD oder die Linse, durch welche man die Fransen betrachtet, näher an B heran, so werden die Fransen kleiner, so wie sie sich dem Rande des Körpers B, an welchem sie entstehen, nähern. Mißt man den Abstand einer beliebigen Franse von dem Schatten in verschiedenen Entfernungen hinter B, so zeigt sich, daß die Linie, welche durch denselben Punkt der Franse in diesen verschiedenen Lagen geht, keine gerade, sondern eine Hyperbel ist, welche ihren Scheitelpunkt im Rande des Körpers hat, so daß dasselbe Licht in verschiedenen Entfernungen des Körpers nicht dieselbe Franse bildet, sondern einer caustischen Curve gebildet von verschiedenen sich schneidenden Strahlen gleicht. Wir sehen uns gezwungen, in der Zeichnung diese merkwürdigen Thatsachen durch hyperbolische Linien zwischen dem Rande des Körpers und den durch punktirte Linien dargestellten Fransen auszudrücken.

4) Bringt man B näher an F heran, etwa in b, und den Schirm in cd, so daß bg gleich BG wird, wo sich also weiter nichts als die Entfernung des Körpers vom Brennpunkt F geändert hat, so nehmen die Fransen sehr an Breite zu, wobei ihre relativen Abstände unter sich und vom Rande des Schattens dieselben bleiben. Der Einfluß des Abstandes des strahlenden Punktes F auf die Größe der Fransen oder

auf die Größe der Inflexion zeigt sich in folgenden von Fresnel gefundenen Resultaten:

Entfernung des Körpers hinter dem Strahlpunkte F.	Abstand BG oder bg hinter dem Körper, in welcher die Inflexion gemessen wird.	Winkelinflexion der rothen Strahlen der ersten Franse.
Fb = 4102 Million.	990 Million.	12′ 6″
FB = 6096 =	990 =	3′ 55″

Zieht man in Erwägung, daß die Fransen im rothen Lichte größer und im violetten Lichte kleiner sind, so erkennt man leicht die Ursache ihrer Farben im weißen Lichte; denn die Farben, die man hier sieht, haben ihren Grund in der Uebereinanderlagerung der Fransen der sieben Farben. Könnte nämlich das Auge die sieben Fransen auffassen, so würden diese Farben durch ihre Mischung die Farben der Fransen geben, die man im weißen Lichte sieht. Hieraus ist klar, warum die Farbe der ersten Franse in der Nähe des Schattens violet und weiter vom Schatten ab roth ist, und warum die Vermischung der Farben außerhalb der dritten Franse statt einzelner Farben weißes Licht gibt.

Newton fand durch eine sehr sorgfältige Messung, daß sich die proportionalen Breiten der Fransen wie die Zahlen $\sqrt{\frac{1}{3}}$, $\sqrt{\frac{1}{5}}$, $\sqrt{\frac{1}{7}}$ verhalten, und daß ihre Zwischenräume dasselbe Verhältniß beobachten. Außer diesen äußeren alle Körper umgebenden Fransen entdeckte Grimaldi in den Schatten langer und breiter Körper eine Menge von Furchen oder parallelen Streifen, abwechselnd leuchtend und dunkel. Je mehr der Körper sich verkleinerte, desto geringer wurde ihre Zahl; auch bemerkte Young, daß die Centrallinie immer weiß ist, so daß man also jedesmal eine unpaare Anzahl weißer, und eine paare Anzahl schwarzer Furchen hat. An der Ecke der Körper dehnen sich diese Fransen in die Breite und werden in der weißen Centrallinie convex; sie bilden dann, wenn sie sich rechtwinklig begrenzen, die sogenannten Kammfransen von Grimaldi.

Bringt man an die Stelle des Körpers B Oeffnungen von verschiedenen Formen, so erhält man eine Reihe interessanter Erscheinungen. Ist die Oeffnung kreisförmig, wie man sie z. B. mit einer kleinen Stecknadel in ein Stück Blei macht, und stellt man eine Linse hinter dasselbe, so daß man den Schatten in verschiedenen Entfernungen wahrnehmen kann: so erblickt man die Oeffnung mit Ringen umgeben, die sich zusammenziehen, sich ausdehnen und ihre Farben auf die

angenehmste Weise verändern. Beträgt die Oeffnung $\frac{1}{3}$ Zoll, ihre Entfernung FB vom leuchtenden Punkte 6 Fuß 6 Zoll und ihre Entfernung BG vom Brennpunkte der Linse 24 Zoll, so nimmt man folgende Reihen von Ringen wahr:

1. Reihe: weiß, gelb, orange, dunkelroth.
2. Reihe: violet, blau, weißlich, gelb, grünlich, gelb, hell orange.
3. Reihe: purpur, indigoblau, grünlichblau, glänzendgrün, gelbgrün, roth.
4. Reihe: bläulichgrün, bläulichweiß, schwach roth.
5. Reihe: sehr schwach grün, sehr schwach roth.
6. Reihe: Spuren von grün und roth.

Bringt man die Oeffnung B näher an die Linse, deren Brennpunkt in G ist, so wird der centrale weiße Fleck immer kleiner und kleiner, bis er gänzlich verschwindet, indem sich die Ringe allmählich immer dichter um ihn herumlegen, wobei der Mittelpunkt nach und nach die schönsten Farben erhält. Herschel beobachtete bei Versuchen, wobei der Abstand des strahlenden Punktes F vom Brennpunkt G der Linse unveränderlich war, und die Oeffnung B sich allmählich dem Punkt G näherte, folgende Farben:

Abstand der Oeffnung B von der Linse.	Farbe des Fleckens in der Mitte.	Farbe der Ringe um den Centralflecken herum.
24 Zoll	Weiß	Die oben beschriebenen Ringe.
18 -	Weiß	Die beiden ersten Ringe trübe. Das Roth des dritten und das Grün der vierten brillant.
13,5 -	Gelb	Die inneren Ringe schwach, das Roth und Grün der äußern lebhaft.
10 -	Dunkel orange	Alle Ringe sehr schwach
9,25 -	Dunkel orangeroth	Alle Ringe sehr schwach
9,10 -	Brillant blutroth	Alle Ringe sehr schwach
8,75 -	Dunkel Carmoisinroth	Alle Ringe sehr schwach
8,36 -	Dunkel purpur	Alle Ringe sehr schwach
8, -	Sehr dunkel violett	Breiter gelber Ring
8,75 -	Stark indigoblau	Blaßgelber Ring
7,00 -	Rein dunkelblau	Brillant gelber Ring
6,63 -	Himmelblau	Orange mit einem dunkeln Raume
6,00 -	Bläulich weiß	Orangeroth mit blaßgelbem Raume
5,85 -	Sehr blaßblau	Carmoisinrother Ring
5,50 -	Grünlichweiß	Purpur und orangegelb
5,00 -	Gelb	Orangeblau
4,75 -	Orangegelb	Hellblau, orangeroth, blaßgelb, weiß
4,50 -	Scharlachroth	Blaßgelb, violett, blaßgelb, weiß
4,00 -	Roth	Weiß, indigo, schmutzig, orange weiß
3,85 -	Blau	Weißgelb, blau, schmutzig roth
3,50 -	Dunkelblau	Orange, hellblau, violett, schmutzig orange.

Nimmt man statt einer einzigen Oeffnung zwei und betrachtet dann die Ringe durch eine Linse, so zeigen sich zwei Systeme von Ringen, um jedes Centrum nämlich ein solches System; außer diesen zeigt sich aber noch ein System von Fransen, welches, wenn die Oeffnungen gleich groß sind, geradlinige parallele Fransen sind, die von beiden Mittelpunkten gleich weit entfernt und senkrecht auf die Linie zwischen den Mittelpunkten sind. Zwei andere Systeme geradliniger und paralleler Fransen divergiren in Form eines Andreaskreuzes von einem Punkte aus zwischen beiden Mittelpunkten in der Mitte und bilden mit dem ersten Systeme der parallelen Fransen gleiche Ringe. Sind die Oeffnungen ungleich, so sind auch die beiden Systeme der Ringe ungleich, und das erste System der parallelen Fransen besteht dann aus Hyperbeln, die ihre concave Seite dem kleinern Systeme der Ringe zukehrt und dessen Oeffnung nach der Seite des gemeinschaftlichen Brennpunktes gerichtet ist *).

Die schönsten Versuche über diesen Gegenstand hat Fraunhofer angestellt; eine genauere Beschreibung derselben würde jedoch die Grenzen dieses Werkes überschreiten **).

Zwölftes Capitel.

Farben dünner Plättchen.

§. 75.

Wird das Licht von den Oberflächen transparenter Körper reflectirt oder durch einzelne ihre Theile, die parallele Flächen haben, hindurchgelassen, so bleibt es unverändert weiß, welche Dicke auch die Körper haben mögen. Die dünnsten Blätter von geblasenem Glase oder von Glimmer werfen das Licht weiß zurück und lassen es weiß durch sich hindurchgehen. Verändert sich jedoch die Dicke dieser Körper bis zu einer gewissen Grenze, so bleibt das Licht bei der Reflexion und beim Durchgehen nicht mehr weiß, sondern ist in beiden Fällen farbig.

Boyle scheint der Erste gewesen zu sein, der die Bemerkung machte, daß dünne Blasen echter Oele, Weingeist, Terpentin, Seife und Wasser in angenehmen Farben spielten; auch blies er Glas so

*) Herschel's Abhandlung vom Lichte §. 735.

**) Edinburger Encyklop. Artikel Optik. Band. XV. S. 556.

dünn, daß es dieselben Farben zeigte. Breveton hatte auf die Farben der dünnen oxydirten Schichten aufmerksam gemacht, die mit der Zeit auf dem Glase entstehen, und Hooke glückte es, so gleichmäßig dünne Plättchen zu erzeugen, daß sie auf ihrer ganzen Oberfläche dieselbe lebhafte Farbe zeigten. Aehnliche Plättchen von Glimmer kann man auf den Rändern von Platten erhalten, die man plötzlich von der Masse losreißt; schneller erhält man sie jedoch, wenn man ein Glimmerstück auf Siegellack leimt und es dann durch einen plötzlichen Ruck davon trennt; dann bleiben auf dem Boden sehr dünne Stückchen kleben, welche die schönsten Farben reflectiren. Könnte man eine Glimmerschicht erhalten von einer zehn Mal so geringen Dicke, als die ist, welche eine schöne blaue Farbe hervorbringt, so würde diese gar kein Licht zurückwerfen und schwarz sein, wenn sie einen schwarzen Körper reflectirte. Eine solche Schicht hat man freilich nie zu Wege bringen und wird sie auch wohl durch kein bekanntes Mittel erhalten können, indeß erzeugt der Zufall zuweilen so dünne feste Plättchen, die einer Lichtreflexion nicht fähig sind. Dieser merkwürdige Umstand ereignete sich bei einem Rauchquarzkrystalle, das in zwei Stücke zerschlagen war. Die beiden Bruchflächen waren völlig schwarz und diese schwarze Farbe schien beim ersten Anblicke von einer dicken Schicht einer dunkeln Materie herzurühren, welche sich in die Spalte gesetzt hatte; allein dies war deßhalb nicht möglich, weil die ganze Fläche schwarz war, da doch die beiden Hälften des Krystalls nicht hätten zusammenhalten können, wenn die Spalte ganz durchgegangen wäre. Ich untersuchte den Krystall sehr sorgfältig, fand die Oberfläche vollkommen transparent für durchgelassenes Licht, und bemerkte, daß die schwarze Farbe der Flächen daher rührte, daß sie ganz aus einer schönen Quarzwolle oder aus dünnen kurzen Fädchen bestanden, die keinen einzigen Strahl des stärksten Lichtes zu reflectiren im Stande waren; der Durchmesser dieser Fäden konnte nach den im Folgenden auseinanderzusetzenden Gründen nicht über $\frac{1}{3000000}$ Zoll betragen. Es befindet sich dieser sonderbare Krystall im Cabinette des Herzogs von Gordon. *) Ich besitze ein anderes kleines Exemplar, und ich zweifle nicht daran, daß man noch Brüche von Quarz und andern Mineralien finden wird, die nach

*) Edinburgh Journ. of sciences. Nro. I. pag. 108.

Verschiedenheit ihres Bruches eine schöne Wolke von verschiedenen Farben besitzen werden.

Die Farben, welche auf diese Weise durch die geringe Dicke hervorgebracht und deßhalb die Farben dünner Plättchen genannt werden, zeigen sich am besten bei Flüssigkeiten von klebriger Natur. Verfertigt man eine Seifenblase und bringt sie zum Schutze gegen den Luftzug unter ein Glas, so sieht man, wenn sie nach einiger Zeit der Ruhe etwas dünn geworden ist, an ihrem Scheitel mehre concentrische farbige Ringe; die Farbe des Mittelpunktes der Ringe wechselt mit der Dicke der Blase, und so wie diese allmählich dünner wird, breiten die Ringe sich aus, der centrale Fleck ist erst weiß, dann bläulich, dann schwarz, dann springt die Blase, weil sie an der Stelle des schwarzen Flecks zu dünn wird. Denselben von der Dicke abhängigen Farbenwechsel kann man an einer dicken Schicht eines sich verflüchtigenden Fluidums wahrnehmen, welches man unter ein sehr klares Glas bringt und dessen Verdünnung während der Verdunstung man mißt.

Newton bediente sich zur Hervorbringung einer dünnen Luftschicht, deren Farbe er untersuchte, der Vorrichtung, welche in (Fig. 57) abgebildet ist. **LL** ist eine Planconvexlinse mit einem Krümmungshalbmesser von 14 Fuß, **ll** eine Biconvexlinse, deren convexe Flächen jede 50 Fuß Halbmesser hat. Die Planseite der Linse **LL** wurde nach unten gekehrt, so daß sie auf der einen Fläche der Linse **ll** auflag. Die beiden Linsen berühren sich dergestalt in ihrer Mitte; drückt man nun die obere sanft gegen die untere, so sieht man um den Berührungspunkt herum ein System von farbigen Kreisringen, die sich ausdehnen, so wie man den Druck verstärkt. Um diese Ringe unter verschiedenen Graden des Druckes und bei verschiedenen Abständen der Linsen **LL** und **ll** von einander untersuchen zu können, bedient man sich dreier Schraubenpaare **p**, **p**, **p** (Fig. 58), durch deren Umdrehung man im Berührungspunkte einen gleichen Druck hervorzubringen im Stande ist.

Betrachtet man diese Ringe durch die obere Linse, so daß man die Ringe sieht, die durch das von der zwischen den Linsen befindlichen Luftschicht reflectirte Licht hervorgebracht werden, so erblickt man sieben Ringe, oder vielmehr sieben kreisförmige Farbenbilder oder Reihen von Farben, welche Newton beschrieben hat, wie sie in den beiden ersten Spalten der nachfolgenden Tabelle stehen; die Farben der

drei ersten Ordnungen sind sehr deutlich, werden aber in den folgenden immer schwächer und verschwinden in der siebenten fast gänzlich.

Betrachtet man die Luftschicht durch die untere Linse II, so erblickt man ein anderes System von Ringen oder Farbenbildern, die sich in dem durchgelassenen Lichte bilden. Man sieht nur fünf solcher durchgelassenen Ringe deutlich, ihre Farben sind nach Newton's Angabe in der dritten Spalte der nachfolgenden Tabelle enthalten; diese Farben sind viel schwächer, als die durch Reflexion hervorgebrachten. Aus einer Vergleichung der reflectirten mit den durchgelassenen Farben ergibt sich, daß die durchgelassene Farbe immer die Complementärfarbe der reflectirten ist, d. h. diejenige Farbe, die mit dieser vermischt weißes Licht erzeugen würde.

Tabelle der Farben dünner Plättchen von Luft, Wasser und Glas.

Farbenbilder oder Farbenreihen vom Mittelpunkte an.	Erzeugte Farben bei der Dicke der Plättchen in den drei folgenden Spalten.		Dicke der Plättchen in Millionteln eines Zolls.		
	Reflectirte.	Durchgelassene.	Luft.	Wasser.	Glas.
I. Ordnung.	Sehr schwarz		$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{10}{31}$
	Schwarz	Weiß	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{20}{31}$
	Anfang des Schwarz		2	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{2}{7}$
	Blau	Gelblich-Roth	$2\frac{2}{5}$	$1\frac{4}{5}$	$1\frac{11}{20}$
	Weiß	Schwarz	$5\frac{1}{4}$	$3\frac{7}{8}$	$3\frac{2}{5}$
	Gelb	Violet	$7\frac{1}{9}$	$5\frac{1}{3}$	$4\frac{3}{5}$
	Orange		8	6	$5\frac{1}{6}$
	Roth	Blau	9	$6\frac{3}{4}$	$5\frac{4}{5}$
II. Ordnung.	Violet	Weiß	$11\frac{1}{6}$	$8\frac{3}{8}$	$7\frac{1}{5}$
	Indigoblau		$12\frac{5}{6}$	$9\frac{5}{8}$	$8\frac{2}{11}$
	Blau	Gelb	14	$10\frac{1}{2}$	9
	Grün	Roth	$15\frac{1}{8}$	$11\frac{1}{3}$	$9\frac{5}{7}$
	Gelb	Violet	$16\frac{2}{7}$	$12\frac{1}{5}$	$10\frac{2}{5}$
	Orange		$17\frac{2}{9}$	13	$11\frac{1}{9}$
	Hellroth	Blau	$18\frac{1}{3}$	$13\frac{3}{4}$	$11\frac{5}{6}$
	Scharlachroth		$19\frac{2}{3}$	$14\frac{3}{4}$	$12\frac{2}{3}$
III. Ordnung.	Purpurroth	Grün	21	$15\frac{3}{4}$	$13\frac{11}{20}$
	Indigoblau		$22\frac{1}{10}$	$16\frac{4}{7}$	$14\frac{1}{4}$
	Blau	Gelb	$23\frac{2}{5}$	$17\frac{11}{20}$	$15\frac{1}{10}$
	Grün	Roth	$25\frac{1}{5}$	$18\frac{9}{10}$	$16\frac{1}{4}$
	Gelb		$27\frac{1}{7}$	$20\frac{1}{3}$	$17\frac{1}{2}$
	Roth	Bläulich-Grün	29	$21\frac{3}{4}$	$18\frac{5}{7}$
	Bläulich-Roth		32	24	$20\frac{2}{3}$
IV. Ordnung.	Bläulich-Grün		34	$25\frac{1}{2}$	22
	Grün	Roth	$35\frac{2}{7}$	$26\frac{1}{2}$	$22\frac{3}{4}$
	Gelblich-Grün		36	27	$23\frac{2}{9}$
	Roth	Bläulich-Grün	$40\frac{1}{3}$	$30\frac{1}{4}$	26
V. Ordnung.	Bläulich-Grün	Roth	46	$34\frac{1}{2}$	$29\frac{2}{3}$
	Roth		$52\frac{1}{2}$	$39\frac{3}{8}$	34
VI. Ordnung.	Grünlich-Blau		$58\frac{3}{4}$	44	38
	Roth		65	$48\frac{3}{4}$	42
VII. Ordnung.	Grünlich-Blau		71	$53\frac{1}{4}$	$45\frac{4}{5}$
	Röthlich-Weiß		77	$57\frac{3}{4}$	$49\frac{2}{3}$

Die vorstehenden Farben zeigen sich, wenn das Licht beinahe senkrecht reflectirt und durchgelassen wird; wenn dagegen das Licht in schräger Richtung reflectirt oder durchgelassen wird, so nehmen die Ringe an Größe zu, indem dann dieselbe Farbe mehr Breite nöthig hat. So reicht die Farbe einer Schicht weiter an den Anfang oder an das Ende der ganzen Schattirung herunter, wenn man sie schräg sieht.

Vorstehendes sind die allgemeinen Phänomene der im weißen Lichte gesehenen Farbenringe. Bringt man die Linsen in gleichartiges Licht, oder läßt man die einzelnen Farben des Sonnenbildes der Reihe nach auf die Linsen fallen, so haben die Ringe immer einerlei Farbe mit dem angewendeten Lichte, besitzen aber die größte Breite im Roth und ziehen sich dann allmählich in den übrigen Farben zusammen, bis sie im Violet ihre geringste Ausdehnung erreichen. Newton maß die Durchmesser derselben und fand dafür folgende Verhältnisse:

Aeußerstes Roth . . .	1,
Orange	0,924
Gelb	0,885
Grün	0,825
Blau	0,763
Indigo	0,711
Violet	0,681
Aeußerstes Violet . . .	0,630

Da das weiße Licht aus allen diesen Farben besteht, so setzen sich die im weißen Lichte wahrgenommenen Ringe aus sieben Ringsystemen von verschiedenen Farben zusammen, die gleichsam übereinander gelagert sind und durch ihre Verbindung die Farben obiger Tabelle geben. Zur Erläuterung dieses Factums dient die Zeichnung (Fig. 59); hier ist der Vereinfachung wegen angenommen, daß jeder Ring oder jedes Farbenbild im gleichartigen Lichte dieselbe Breite habe, als wenn es zwischen beinahe ebenen Flächen gebildet wäre, oder als wenn die Dicke der Platte mit dem Abstande des Berührungspunktes variirte. Man bilde mit jeder der sieben Farben des Spectrums ein ähnliches System von Ringen, schneide aus jedem Systeme einen Sector heraus, und lege diese um ein gemeinschaftliches Centrum C, wie in der Figur. Der Winkel des rothen Sectors betrage 50°, der des orangefarbenen 30°, des gelben 40°, des grünen °, des blauen 60°, des indigoblauen 40°, und des violetten 80°, so daß alle Sectoren zusam-

men einen ganzen Umkreis von 360° bilden. Von Centrum C aus zeichne man auf jedem Sector mit Halbmessern, die den Werthen der vorstehenden Tabelle correspondiren, die ersten, zweiten und dritten Ringe. Da hiernach die proportionalen Durchmesser des äußersten Roth und des äußersten Orange 1 und 0,924 sind, so wird die Mitte von Roth das arithmetische Mittel 0,962 dieser beiden Zahlen sein, und folglich ist der proportionale Durchmesser oder Halbmesser des ersten rothen Ringes für die Mitte des rothen Raumes 0,962. Desgleichen ist der Halbmesser für Orange 0,904, für Gelb 0,855, für Grün 0,794, für Blau 0,737, für Indigo 0,696, für Violet 0,655. Man male nur die rothen Ringe mit der rothen Farbe aus, die sie im Spectrum haben, die orangefarbenen Ringe mit Orange und so alle übrigen, wobei man jede Farbe möglichst an die Farbe des Spectrums heranzubringen sucht. Dreht man hierauf sämmtliche Sectoren rasch um ihren Mittelpunkt C, so muß ihre Mischung die farbigen Ringe zeigen, welche man im weißen Lichte wahrnimmt. Da der Durchmesser jedes Ringes vom Anfange bis zu seinem Ende veränderlich ist, so bildet der Ringtheil jedes Sectors eine Spirale, und diese zusammen machen eine einzige Spirale aus, deren Anfangspunkt das Roth, deren Endpunkt das Violet für jeden Ring ist.

Mit Hilfe der Zeichnung können wir uns von der Zusammensetzung eines jeden der Ringe vergewissern, die wir im weißen Lichte wahrnehmen. Angenommen, es sollte z. B. die Farbe des Ringes in dem Abstande Cm vom Mittelpunkte C bestimmt werden, wo m die Mitte des zweiten rothen Ringes ist. Man beschreibe aus C als Mittelpunkt mit dem Halbmesser Cm einen Kreis mnop, so zeigen die diesen Kreis durchschneidenden Farben die Zusammensetzung des Ringes. Er geht beinahe mitten durch den lebhaftesten Theil *) des zweiten rothen Ringes in m, und durch einen sehr lebhaften Theil vom Orange; er geht ferner durch einen lebhaften Theil des Gelb in n, durch den lebhaftesten Theil von Grün, durch eine weniger brillante Stelle von Blau, durch den dunklen Theil des Indigo in p und durch den dunkelsten Theil des dritten violetten Ringes. Wüßte man das Gesetz genau, nach welchem sich die Zunahme des Glanzes eines beliebigen Streifens von der dunkelsten bis zur hellsten Stelle

*) Die lebhaftesten Stellen sind in der Figur am stärksten schattirt.

richtet, so könnte man leicht die Zahl der Lichtstrahlen jeder Farbe bestimmen, welche jeder der im weißen Lichte wahrgenommenen Ringe bilden.

Die Dicke der Luftschicht, die jede Farbe hervorbringt, bestimmte Newton, indem er fand: daß die Quadrate der Durchmesser der lebhaftesten Theile sich wie die natürlichen unpaaren Zahlen 1, 3, 5, 9, und die der dunkelsten Theile wie die natürlichen paaren Zahlen 2, 4, 6, 8, 10, verhalten; und da das eine ein Plan-, das andere ein sphärisches Glas war, so müssen ihre Zwischenräume zwischen diesen Ringen in demselben Verhältnisse stehen. Er maß hierauf den Durchmesser des fünften dunklen Ringes, und fand, daß die Dicke der Luft an dem dunkelsten Theile des von den lothrechten Strahlen gebildeten ersten dunkeln Ringes $\frac{1}{89000}$ Zoll betrug. Er multiplicirte diese Zahl mit 1, 3, 5, 9 u. s. w. und mit 2, 4, 6, 8 u. s. w., wodurch er folgende Resultate erhielt:

	Dicke der Luft an der hellsten Stelle.	Dicke der Luft an der dunkelsten Stelle.
Erster Ring	$\frac{1}{178000}$	$\frac{2}{178000}$
Zweiter Ring	$\frac{3}{178000}$	$\frac{4}{178000}$
Dritter Ring	$\frac{5}{178000}$	$\frac{6}{178000}$
Vierter Ring	$\frac{7}{178000}$	$\frac{8}{178000}$

Als Newton Wasser zwischen die Linsen brachte, wurden die Farben schwächer und die Ringe kleiner; eine Messung der Dicke des Wassers, welches gleiche Ringe hervorbrachte, zeigte, daß diese sich zur Dicke der entsprechenden Luftschicht verhielt, wie der Brechungsexponent der Luft zu dem des Wassers, also nahe wie 1 zu 1,336. Mit Hilfe dieser Daten rechnete er die drei letzten Spalten der (§. 75.) mitgetheilten Tabelle aus, in denen die Dicken der Luft-, Wasser- und Glasschichten in Millionteln eines Zolles ausgedrückt sind. Diese sehr nützlichen Spalten können als ein Mikrometer betrachtet werden, mit Hilfe dessen man die sehr geringen Dicken transparenter Körper durch ihre Farben bestimmen kann, falls kein anderes Mittel zu diesem Zwecke anwendbar ist.

Wir haben aber schon bemerkt, daß, wenn die Dicke der Luftschicht nahe an $\frac{12}{178000}$ Zoll beträgt, welche Dicke dem siebenten Ringe entspricht, die Farben aufhören sichtbar zu sein; dies rührt von der Verbindung aller getrennten Farben her, einer Verbindung, die weißes Licht gibt. Sieht man aber diese Ringe im gleichartigen Lichte, so

erscheinen sie in viel größerer Menge, und schwarze und farbige Ringe folgen auf einander bis zu einer beträchtlichen Entfernung vom Berührungspunkte. Werden indessen die Ringe zwischen zwei Linsen gebildet, so wächst die Dicke der Luftschicht dergestalt, daß die äußern Ringe sich einer über den andern erheben und aus diesem Grunde aufhören sichtbar zu sein. Unstreitig würde dies nicht geschehen, wenn die Farben durch eine feste Schicht gebildet würden, deren Dicke in schwachen Abstufungen variirte. Auf dieses Princip hat Talbot eine sehr schöne Methode gegründet, die Ringe mit Schichten von Glas und andern Substanzen zu zeigen, die selbst eine merkliche Dicke besitzen. Bläst man eine Glasblase so dünn, daß sie springt, *) und hält eins der Stücke in das Licht einer Weingeistlampe mit einem mit Kochsalz stark eingeriebenen Dochte, oder einer der von mir beschriebenen monochromatischen Lampen, **) die sämmtlich ein grobes, reines, gleichartiges Licht geben, so erblickt man die Fläche desselben mit abwechselnd gelben und schwarzen Fransen, von denen jede in ihren Umrissen Linien bildet, die in den Glasschichten gleiche Dicke haben. Aendert sich die Dicke langsam, so sind die Fransen breit und leicht zu erkennen; ändert sich die Dicke aber plötzlich, so sind die Fransen dergestalt aufeinander gehäuft, daß man sie nur mit einem Mikroskope unterscheiden kann. Hätte eine von den Glasschichten nur ein Tausendtel eines Zolles Dicke, so würden die von ihr erzeugten Ringe der 19ten Ordnung angehören, und könnte man ein breites Stück Glas erhalten, dessen Dicke in langsamen Abstufungen über ein Milliontel eines Zolles hinabginge, so würden 89 und wahrscheinlich noch mehr Ringe deutlich mit bloßen Augen zu unterscheiden sein. Zu diesen Zwecken müßte jedoch das Licht völlig gleichartig sein. Diese Ringe erblickt man zwischen den beiden Linsen in der atmosphärischen Luft und in jeder andern Gasart, ja sogar, wenn gar kein Körper vorhanden ist, wie sich aus Versuchen im leeren Raume einer Luftpumpe ergibt.

Dreizehntes Capitel.

Farben dicker Platten.

§. 76.

Newton beobachtete und beschrieb zuerst die Farben dicker Plat-

*) Glimmerblättchen sind noch besser.

**) Poggendorff's Annalen II. 98. A. d. Ü.

ten als Erzeugnisse gläserner Concavspiegel. Er ließ einen Sonnenstrahl R (Fig. 60) in ein dunkles Zimmer durch eine in den Fensterladen MN gemachte Oeffnung von $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser auf den Glasspiegel AB fallen. Dieser war $\frac{1}{4}$ Zoll dick, auf der Rückseite belegt, seine Axe lag in der Richtung rR, und der Krümmungshalbmesser seiner beiden Flächen war seinem Abstande von der Oeffnung gleich. Brachte man ein Stück Papier auf den Boden MN mit einem Loche zum Durchlassen der Sonnenstrahlen, so war das Loch umgeben von vier- bis fünffarbigen Ringen und mitunter zeigten sich auch noch Spuren eines sechsten und siebenten Ringes. Sowie das Papier vom Mittelpunkte seiner Concavität mehr oder weniger entfernt wurde, breiteten sich die Ringe aus, und verschwanden allmählich. Die Farben der Ringe folgten aufeinander, wie in dem Systeme der von dünnen Plättchen durchgelassenen Ringe, welches in der dritten Colonne der Tabelle §. 75. mitgetheilt ist. War das Licht R roth, so waren die Ringe roth, und so auch mit den übrigen Farben, wobei sie im Roth am größten, im Violet am kleinsten waren. Ihre Durchmesser hatten dasselbe Verhältniß als die Durchmesser der zwischen den Linsen gesehenen Ringe. Die Quadrate der Durchmesser der hellsten Theile (im gleichartigen Lichte) verhielten sich wie die Zahlen 0, 2, 4, 6, u. s. w., und die Quadrate der Durchmesser der dunkelsten Stellen, wie die zwischen jenen liegenden Zahlen 1, 3, 5, 7, u. s. w. Mit dicken Spiegeln erhielt man weniger Ringe, und ihr Durchmesser variirte im Verhältnisse der Quadratwurzel aus der Dicke des Spiegels. Wurde die Belegung von der Rückseite abgenommen, so wurden die Ringe schwächer, und sie verschwanden gänzlich, wenn man den Rücken des Spiegels mit einer Lage Terpentinöl bedeckte. Daraus folgt, daß die hintere Seite des Spiegels mit der vordern zur Erzeugung der Ringe concurrirt.

Ist der Spiegel AB gegen die einfallende Lichtmasse Rr geneigt, so werden die Strahlen, sowie der weiße runde Fleck allmählich breiter, es kommen nach und nach neue farbige Ringe von ihrem gemeinschaftlichen Mittelpunkte aus zum Vorschein, der weiße Fleck wird zu einem weißen Ringe, welcher die Farben begleitet, und die einfallenden und reflectirten Lichtmassen fallen beständig auf die entgegengesetzten Seiten des weißen Ringes, indem sie seinen Umkreis erhellen, wie zwei Nebensonnen auf den entgegengesetzten Seiten eines Regenbogens. Die

Farben dieser neuen Ringe folgten auf einander in entgegengesetzter Ordnung mit der vorigen.

Der Herzog von Chaulnes bemerkte ähnliche Ringe auf der Fläche eines Spiegels, wenn dieser mit Gaze, Musselin oder mit einer dünnen Schicht abgerahmter getrockneter Milch bedeckt war. Herschel bemerkte ähnliche Phänomene, indem er Puderstaub vor einem Concavspiegel in die Höhe warf, auf welche eine auf einen Schirm reflectirte Lichtmasse fiel.

§. 77.

Die einfachste Methode zur Hervorbringung dieser Farben besteht darin, daß man das Auge unmittelbar hinter die Flamme eines mit Oel oder Wachs genährten kleinen Dochtes bringt, um sie auch in dem Falle untersuchen zu können, wenn sie lothrecht auffallen. Die Farben dicker Platten lassen sich sogar mit einer gewöhnlichen Kerze wahrnehmen, wenn man diese 10 bis 12 Fuß hinter eine Fensterscheibe aus Kronglas bringt, die mit ein wenig feinem Staube bedeckt, oder schwach angefeuchtet ist. Die Farben sind in diesem Falle sehr lebhaft; man kann sie jedoch auch wahrnehmen, wenn die Fensterscheibe rein ist.

Außerdem kann man mit zwei Glasplatten von gleicher Dicke die Farben dicker Platten erhalten und ihre Theorie untersuchen. Die so erzeugten Phänomene, die ich im Jahre 1817 beobachtet habe, sind sehr schön, und nach Herschel's Zeugnisse zur Auffindung der Gesetze dieser Art von Phänomenen sehr geeignet. Um Platten von vollkommen gleicher Dicke zu erhalten, ließ ich aus einem und demselben parallelen Glasstücke zwei Platten AB und CD machen, brachte zwischen beide weiches Wachs und näherte sie auf eine Entfernung von ungefähr $\frac{1}{10}$ Zoll, wobei ich durch das stärkere Zusammendrücken des einen Wachsstückes den beiden Platten die gewünschte Neigung geben konnte. Es sei AB und CD (Fig. 61) der eine und der andere Durchschnitt der beiden unter rechtem Winkel gegen die gemeinschaftliche Schnittlinie der beiden Flächen geneigten Platten und RS ein Lichtstrahl, der beinahe vertikal auffällt und von einer Kerze oder noch besser von einer kreisförmigen Scheibe condensirten Lichtes herrührt, die einen Winkel von 2° bis 3° spannt. Bringt man das Auge hinter die Platten, so sieht man nur ein Bild der Kreisscheibe; sind dagegen die Platten geneigt, wie in der Figur, so sieht man in der

Richtung VR mehre reflectirte Bilder in einer Reihe seitwärts von dem direkten Bilde. Das erste oder das hellste Bild wird durchschnitten von funfzehn bis sechzehn schönen Fransen oder Farbenbändern. Die drei centralen Fransen bestehen aus schwärzlichen oder weißlichen Strichen, und die äußern der hellen Streifen aus Roth und Grün. Diese Streifen sind fortwährend parallel mit dem gemeinschaftlichen Durchschnitte der geneigten Platten; sie werden breiter, wenn die Neigung der Platten kleiner, und schmäler, wenn diese größer wird.

Fällt das Licht der leuchtenden Kreisscheibe schräg auf die erste Platte, dergestalt, daß die Einfallsebene unter rechtem Winkel auf den Durchschnitt der Platten trifft, so sind die Fransen in keinem der Bilder deutlich zu sehen; sie erhalten dagegen ihr Maximum von Helligkeit, wenn die Einfallsebene parallel zu diesem Durchschnitt ist. Die reflectirten Bilder werden natürlich heller und die Farben lebhafter, so wie der Einfallswinkel sich vergrößert; vermehrt sich dieser von 0° bis 90°, so werden die Bilder, welche die größte Anzahl von Reflexionen erlitten haben, von andern Fransen durchschnitten, die unter einem kleinen Winkel gegen sie geneigt sind. Bedeckt man das helle Licht des ersten Bildes so, daß man das durch eine zweite Reflexion in der ersten Platte erzeugte Bild wahrnehmen kann, und betrachtet man das Bild durch eine kleine Oeffnung, so bemerkt man im ersten Bilde farbige Streifen, die an Deutlichkeit der Umrisse und an Schönheit der Farben alle ähnliche Erscheinungen weit hinter sich lassen. Bedeckt man diese Fransen abermals, so erblickt man auf dem Bilde, unmittelbar hinter ihm neue Fransen, die durch eine dritte Reflexion an der innern Seite der ersten Platte gebildet werden. Schiebt man die Platte CD ein wenig rechts, läßt den Strahl RS zuerst auf die Platte CD fallen, und ihn dann von den beiden Flächen dieser Platte auf die Platte AB reflectiren, so erblickt man dieselben farbigen Streifen. In der Figur ist der Gang des Strahls durch die beiden Platten gezeichnet.

Haben die beiden Platten die Form von Concav- und Convexlinsen und sind sie mit einander verbunden, wie in einem doppelten oder dreifachen achromatischen Glase, so entwickelt sich eine Reihe sehr schöner Ringsysteme, die mitunter von andern verschiedenartigen Ringen durchkreuzt werden. Ich habe keine Zeit gehabt, einen Bericht über

die zahlreichen Beobachtungen, die ich über diese sonderbare Art von Erscheinungen gemacht habe, abzustatten.

Talbot fand bei Betrachtung von geblasenen Glasschichten im gelben gleichartigen Lichte oder auch im gewöhnlichen Tageslichte, als er zwei solcher Schichten zusammenstellte, daß helle und dunkle Fransen oder farbige Fransen von unregelmäßigen Formen zwischen ihnen entstanden, welche eine einzige Schicht für sich nicht hervorbrachte.

Vierzehntes Capitel.

Farben von Fasern und facettirten Flächen.

§. 78.

Betrachtet man ein Licht oder irgend einen andern leuchtenden Körper durch eine Glasschicht, die mit Dunst oder feinem Staube bedeckt ist, so sieht man sie umgeben von einer Glorie oder einem farbigen Ringe, wie mit einem Hofe um die Sonne oder den Mond. Diese Ringe vergrößern sich mit der Größe der sie erzeugenden Theile, und ihr Glanz und ihre Zahl hängt ab von der Gleichheit der Theile. Dünne Fasern, wie z. B. die der Seide oder der Wolle, erzeugen eben solche Ringreihen, welche sich mit dem Durchmesser der Fasern vermehren; aus diesem Grunde schlug Young ein Instrument, das sogenannte Eriometer vor, womit er die Durchmesser dünner Theilchen und Fasern dadurch mißt, daß er den Durchmesser von einem der Ringreihen bestimmt. Zu diesem Zwecke wählt er die Grenze des ersten rothen und grünen Ringes. Das Eriometer besteht aus einem Stücke dünner Pappe oder aus einer bronzenen Platte, die eine Oeffnung von $\frac{1}{50}$ Zoll in der Mitte eines Kreises von ungefähr $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser hat und mit acht kleinen Löchern durchbohrt ist. Man befestigt die zu messenden Theilchen oder Fasern in einen Falz, bringt das Eriometer in helles Licht, und das mit einer Linse bewaffnete Auge hinter das kleine Loch, wo man dann das farbige Bild sieht. Hierauf schiebt oder zieht man den Falz so lange, bis die Grenze des rothen oder grünen Ringes mit dem durchbohrten Kreisloche zusammen fällt, wo die Zahl auf der Scale die Größe der Theilchen der Fasern zeigt. Wollaston fand, daß der Samenstaub vom **lycoperdon bovista** $\frac{1}{8500}$ Zoll im Durchmesser hatte, und da diese Substanz Ringe erzeugte, die auf $3\frac{1}{2}$ der Scale hinwiesen, so muß die Einheit dieser Scale $\frac{1}{29750}$ oder $\frac{1}{30000}$ Zoll betragen. Die nachfolgende

Tabelle enthält einige Maße von Wollaston in 30000steln eines Zolles.

	30000stel Zoll.
Milch ausgebreitet bis zum Unsichtbarwerden . .	3
Samenstaub von **lycoperdon bovista**	$3\frac{1}{2}$
Ochsenblut	$4\frac{1}{2}$
Mehlthau von Gerste	$6\frac{1}{2}$
Stutenblut	$6\frac{1}{2}$
Mit Wasser verdünntes Menschenblut	6
Eiter	$7\frac{1}{2}$
Seide	12
Biberhaar	13
Maulwurfshaar	16
Wolle zu Shawls	19
Sächsische Wolle	22
Wolle vom Löwen	25
Wolle vom Pako (**auchenia alpaca**)	26
Mehl von **laurestinus**	26
Wolle der Merinosschafe von Ryeland	27
Wolle der südlichen Merinos	28
Körner vom **lycopodium**	32
Wolle eines südlichen Schafes	39
Grobe Wolle	46
Wolle vom Weberstuhle	60

§. 79.

Durch Beobachtung der Farben, welche durch die Reflexion der Fasern hervorgebracht werden, aus denen die Krystalllinsen der Augen der Fische und andern Thiere bestehen, konnte ich zum Ursprunge dieser Fasern aufsteigen, und die Zahl der Pole oder Segmente bestimmen, auf welche sie sich bezogen. Durch dieselbe Art der Beobachtung und durch die Bestimmung des Abstandes des weißen Bildes vom ersten Farbenbilde wurde es mir möglich, die Durchmesser der Fasern anzugeben und zu zeigen, daß sie wie Nadeln ablaufen, indem sie allmählich vom Aequator nach den Polen der Linse zu dergestalt abnehmen, daß sie in ihrer Vereinigung sphärische Flächen bilden, indem sie in ihren Polen oder Anfangspunkten convergiren. Die farbigen von den Fasern der Linsen erzeugten Bilder liegen in einer Li-

nie, die lothrecht auf der Richtung der Fasern steht, und drückt man eine verhärtete Linse auf Wachs ab, so theilen sich die Farben dem Wachse mit. Bei mehren Linsen habe ich farbige Bilder in einer großen Entfernung vom gewöhnlichen Bilde gesehn, jedoch in einer Richtung, die mit der der Fasern zusammenfiel; ich schloß daraus, daß die Fasern von Bändern oder Linien durchkreuzt werden, die $\frac{1}{11000}$ Zoll von einander entfernt sind, und ich fand mit Hilfe sehr kräftiger Mikroskope, daß jede Faser in diesem Falle Zähne von äußerster Feinheit hatte, ähnlich den Zähnen einer Harke; die Farben werden dann von den Linien erzeugt, welche die Seiten jenes Zahns bilden.

§. 80.

Zu dieser Classe von Phänomenen müssen die Farben der Perlmutter gezählt werden; diese an der Perlmuschel (**mytilus margaritiferus**) gefundene Substanz wird vielfach in den Künsten angewendet und ihr schönes Farbenspiel ist bekannt. Um diese Farben wahrzunehmen, nehme man eine regelmäßige Platte von Perlmutter mit fast paralleler Oberfläche und reibe diese Oberfläche auf einem Reibsteine oder einer Glasplatte mit Schieferstaube so lange, bis das von ihnen reflectirte Bild einer Kerze eine schmutzig röthlichweiße Farbe hat. Bringt man das Auge nahe an die Platte, und betrachtet man das reflectirte Bild, so sieht man auf der einen Seite (Fig. 62) ein prismatisches Bild **A**, welches mit allen Farben des Regenbogens glänzt und ein Spectrum der Kerze gibt, welches eben so deutlich ist, als wenn es von einem gleichseitigen Prisma aus Flintglas erzeugt wäre. Die blaue Seite dieses Bildes ist nahe beim Bilde **C**, und der Abstand des rothen Theils beträgt in einem Falle 7° 22′; jedoch ist dieser Winkel veränderlich, selbst in einem und demselben Falle. Sieht man auf die Perlmutter, so kann das Bild **A** sich über oder unter **C** oder auch beliebig seitwärts befinden; durch Drehung der Perlmutter ist es jedoch möglich, dasselbe auf die rechte oder linke Seite von **C** zu bringen. Der Abstand **AC** ist am kleinsten, wenn das Kerzenlicht fast senkrecht auf die Fläche fällt, und vergrößert sich, so wie sich die Neigung des einfallenden Strahles vergrößert. In einem Falle betrug er 2° 7′ bei fast senkrechtem Auffallen, und 9° 14′ bei sehr schrägem Auffallen.

Außerhalb des Bildes **A** erblickt man unveränderlich eine farbige Lichtmasse **M**, deren Abstand **NC** beinahe das Doppelte von **AC** beträgt. Diese drei Bilder befinden sich fast immer in gerader Linie,

allein der Winkelabstand von **M** verändert sich mit dem Einfallswinkel und nach einem Gesetze, das von dem von **A** verschieden ist. Bei großen Einfallswinkeln hat diese nebelige Masse eine schöne carmoisinrothe Farbe; bei einem Winkel von 37° wird sie grün und bei fast senkrechtem Auffallen gelblich weiß und sehr hell.

Polirt man hierauf die Fläche der Perlmutter, so wird das gewöhnliche Bild **C** lebhafter und ganz weiß; dann erscheint aber ein zweites prismatisches Bild **B** in einiger Entfernung auf der andern Seite von **C**.

Dieses zweite Bild hat sonst in allen übrigen Rücksichten gleiche Eigenschaften mit dem ersten. Seine Lebhaftigkeit vergrößert sich mit der Politur der Fläche, bis sie der von **A**, die durch die Politur etwas geschwächt wird, fast gleich ist. Das zweite Bild wird niemals wie das erste von einer nebeligen Masse **M** begleitet. Nimmt man die Politur weg, so verschwindet das Bild **B** und **A** bekommt seinen frühern Glanz wieder. Die Politur vermehrt den Glanz der nebligen Masse **M**.

Wiederholt man diese Versuche mit der andern Seite der Perlmutter, so hat man ganz dieselben Erscheinungen, nur liegen dann die Bilder **A** und **M** auf der andern Seite von **C**.

Sieht man durch die Perlmutter, falls diese sehr dünn ist, so wird man beinahe dieselben Erscheinungen wahrnehmen. Die Farben und die Entfernung der Bilder sind beim Durchgange des Lichtes dieselben, nur die neblige Masse **M** erscheint nicht. Ist das zweite Bild **B** bei der Reflexion unsichtbar, so wird es beim Durchgange sehr lebhaft, und umgekehrt.

Bei Gelegenheit dieser Versuche befestigte ich die Perlmutter mit einem Kitte aus Harz- und Bienenwachse in einen Winkelmesser, und als ich sie fortnahm, überraschten mich auf der ganzen Fläche des Wachses die lebhaftesten prismatischen Farben der Perlmutter. Anfangs war ich der Meinung, es sei eine dünne Schicht Perlmutter auf dem Wachse sitzen geblieben; dies war jedoch nicht der Fall, sondern die Perlmutter hatte dem Wachse die Eigenschaft, farbige Bilder zu erzeugen, wirklich mitgetheilt. Drückte man unpolirte Perlmutter auf dem Wachse ab, so gab dieses nur das Bild **A**; war die Perlmutter polirt, so erzeugte das Wachs die Bilder **A** und **B**, aber niemals die neblige Masse **M**. Die auf dem Wachse wahrgenommenen Bilder

befanden sich immer auf der entgegengesetzten Seite von **C**, von der, auf welcher sie bei der aufgedrückten Fläche erschienen.

Man kann die Farben, welche die Perlmutter einer weichen Fläche mittheilt, sehr gut wahrnehmen, wenn man sich des schwarzen Wachses bedient; ich habe sie auch dem Balsam von Tolu, dem Rauschgelb (Realgar), geschmolzenem Metalle, und reinen Flächen von Blei und Zinn durch einen starken Druck oder durch einen Schlag mit dem Hammer mitgetheilt. Eine Auflösung aus arabischem Gummi und Hausenblase, die maa auf der Oberfläche der Perlmutter erhärten läßt, nimmt einen vollkommnen Abdruck an, und gibt gute Stücke zum Reflectiren und Durchlassen aller Farben, die mitgetheilt werden können. Bringt man den Leim zwischen zwei gut polirte Flächen von Perlmutter, so erhält man eine künstliche Perlmutterschicht, die bei einem einzigen Lichte, z. B. einem Kerzenlichte, oder vor der Oeffnung eines Fensterladens, in den schönsten Farben glänzt.

Könnte man bei diesem Versuche die Facetten der einen Perlmutterfläche genau denen der andern parallel machen, wie in der Muschel selbst, so würden die von den beiden Flächen erzeugten Bilder **A** und **B** zusammenfallen und man würde beim Durchlassen und Reflectiren nur zwei Bilder sehen; so aber sieht man durch die Leimschicht vier Bilder, und eben so viele bei der Reflexion, indem die zwei neuen Bilder durch die Reflexion der Hinterfläche der Schicht gebildet werden.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß die hier in Rede stehenden Farben durch eine eigenthümliche Einrichtung der Fläche erzeugt werden, die wie ein Pettschaft ihr verkehrtes Bild jeder Fläche mittheilt, welche zu dessen Aufnahme fähig ist. Eine Untersuchung der Fläche mit Mikroskopen zeigte mir fast in allen Stücken eine Vereinigung von Facetten, geformt wie die zarte Haut an den Fingerspitzen der Kinder, oder wie der Durchschnitt der Jahresringe eines Baumes, welche man z. B. an einem Tannenbrette wahrnimmt. Mitunter zeigen sich diese Facetten dem bloßen Auge; oft sind sie aber so klein, daß sich auf dem Raume eines Zolles deren 3000 befinden. Die Fasern sind immer unter rechtem Winkel gegen die Linie **MACB** (Fig. 62) gerichtet; daher kommt es, daß bei unregelmäßigen Perlmutterstükken, wo die Facetten oft kreisförmig und nach allen Richtungen laufen, die farbigen Bilder **A** und **B** ganz zufällig um das gemeinschaftliche Bild **C** herumliegen. Wären z. B. die Facetten kreisförmig, so

würde die Reihe der prismatischen Bilder **A** und **B** einen prismatischen Kreisring um **C** erzeugen, wenn die Facetten in gleichem Abstande von **C** lägen. Der Abstand der Facetten beträgt im Allgemeinen $\frac{1}{200}$ bis $\frac{1}{500}$ Zoll, und die prismatischen Bilder entfernen sich von **C**, so wie sich die Facetten enger schließen. In einem Stücke, welches 2500 Facetten auf den Zoll enthielt, betrug die Entfernung **AC** 3° 41′; in einem Stücke von 5000 Facetten auf den Zoll war sie fast 7° 22′.

Die Facetten sind offenbar die Durchschnitte der sämmtlichen concentrischen Lagen der Muschel. Bedient man sich der wirklichen Oberfläche einer solchen Schicht, so sieht man keins der Bilder **A** und **B**, sondern nur die nebelige Masse **E**, die sich dann an der Stelle des Hauptbildes **C** befindet. Hieraus erklärt sich, warum die Perle kein Bild **A** oder **B** gibt, warum sie ihr Bild dem Wachse nicht mittheilt, und warum sie mit dem schönen weißen Lichte glänzt, das sie so kostbar macht. Die Perle besteht nämlich aus concentrischen Kugelschichten, die um einen Kern im Mittelpunkte angeschossen sind, den Home für eins der Eier des Schalthieres hält. Auf ihren Schichten befinden sich keine Ränder, und da die Schichten parallel sind, so wird diese Lichtmasse **M** ganz wie das Bild **C** zurückgeworfen und nimmt dessen Stelle ein, während es bei der Perlmutter von den Flächen der Schichten reflectirt wird, die gegen die das Bild **C** reflectirende allgemeine Fläche des Stücks geneigt sind. Die Mischung aller dieser zerstreuten Massen des nebeligen rosenrothen und grünen Lichtes gibt das schöne Weiß der Perlen. In den schlechten Perlen, die zu blau und zu rosenroth sind, herrscht eine ihrer Farben vor. Schneidet man eine Perle schräg durch, so daß eine hinreichende Anzahl der concentrischen Schichten mit dicht geschlossenen Rändern zum Vorschein kommt, so nimmt man sämmtliche Farben der Perlmutter wahr, die sich mittheilen lassen. *)

Außer der Perlmuschel zeigen sich diese Phänomene auch an einigen andern Muscheln, und überall lassen sich die mittheilbaren Farben von den unmittheilbaren unterscheiden, wenn man eine Lage eines Fluidums oder eines Cements zwischen die Fläche der Muschel und eine Glasschicht bringt. Dann verschwinden die mittheilbaren Farben,

*) **Edinburgh Journ. of sciences. Nro. XII. pag. 277.**

weil die Facetten sich füllen; die unmittheilbaren werden dagegen lebhafter.

§. 81.

Herschel entdeckte in sehr dünnen Perlmutterblättchen zwei andere neblige prismatische Bilder, die weiter von C abliegen als A und B, und dann noch zwei andere schwächere nebelige Bilder. Die Linie zwischen den beiden letztern kreuzt die Linie zwischen den beiden erstern immer rechtwinklig *). Man nimmt diese Bilder wahr, wenn man durch ein dünnes Perlmutterblättchen sieht, das parallel mit der natürlichen Oberfläche der Muschel abgeschnitten ist und dessen Dicke zwischen $\frac{1}{70}$ und $\frac{1}{300}$ Zoll liegt. Sie sind viel größer als A und B, und ihre Verbindungslinie steht nach Herschel's Beobachtung immer lothrecht auf einer adrigen Structur, welche die Masse durchschneidet. Der rothe Theil des Bildes war 16° 29′ von C entfernt, und die erzeugenden Adern waren so klein, daß deren 3700 auf einen Zoll gingen.

In Figur 63 haben wir diese Bilder abgebildet, wie sie die gewöhnlichen Facetten, welche die mittheilbaren Farben erzeugen, gaben. Herschel beschreibt sie, als schnitten sie diese Fasern unter allen Winkeln, »was der Fläche das Ansehen eines Stückes gewebten Seidenzeuges oder großer von feinen Linien durchkreuzter Wasserwogen gibt«, die beiden letzten beim Durchlassen gesehenen nebeligen Bilder müssen von einer Aderstructur herrühren, die auf der erstern völlig lothrecht steht, obgleich man sie noch mit keinem Mikroskope hat erkennen können. Herschel fand, daß diese Structur immer mit der Ebene zusammen fällt, welche durch die Mittelpunkte der beiden polarisirten Ringsysteme geht.

Das Prinzip der Farbenerzeugung facettirter Oberflächen und der Mittheilbarkeit dieser Farben an verschiedene Substanzen durch den Druck wurde auf eine sehr glückliche Weise von Barton in den Künsten angewandt. Mittelst einer sehr zarten Maschine, die durch eine mit der höchsten Sorgfalt verfertigte Schraube arbeitet, gelang es ihm, auf den Stahl Facetten von $\frac{1}{200}$ bis $\frac{1}{10000}$ Zoll einzuschneiden. Diese Furchen werden mit einer Diamantspitze eingegraben und sind so

---

*) In einem Exemplare, welches wir vor uns liegen haben, steht die Linie zwischen den beiden schwächsten nebligen Bildern senkrecht auf der Linie, die A mit B verbindet.

vollkommen gleich und parallel, daß, während die Perlmutter auf jeder Seite am gewöhnlichen Kerzenbilde C nur ein einziges prismatisches Bild A zeigt, die Flächen des facettirten Stahles sechs, sieben bis acht prismatische Bilder erzeugen, die aus eben so vollkommenen Spectern bestehen, als wären sie von den schönsten Prismen hervorgebracht. Keine natürliche oder künstliche Farbe geht über den Glanz dieser Farben, und Barton verfertigte Knöpfe und allerlei Putzsachen für Frauen, die mit, nach künstlichen Mustern gezeichneten, Facetten bedeckt waren und beim Kerzen- und Lampenlichte mit allen Farben des Prisma glänzten. Er gab diesen Sachen den wohlverdienten Namen Irisschmuck. Er zeichnete die Muster auf Stahlwürfel, härtete diese und drückte sie dann ab auf Knöpfe von polirter Bronce. Im Tageslichte kann man die Farben dieser Knöpfe nicht gut unterscheiden, wenn nicht etwa die Oberfläche den Rand eines dunklen Objectes reflektirt, welches einem erleuchteten Object gegenüber gesehen wird; im Sonnen-, Gas- und Kerzenlichte dagegen geben die Farben kaum dem brennenden Feuer des Diamant etwas nach. Die auf Stahl geschnittenen Facetten lassen sich natürlich auf Wachs, Leim, Zinn, Blei und andere Körper übertragen; läßt man transparente Hausenblasenschichten zwischen zwei solchen gefurchten Flächen hart werden, so erhält man eine Platte, die beim Durchgange des Lichtes eine Vereinigung von Farbenbildern zeigt, wie man sie sonst nie gesehen hat.

§. 82.

Bei der Untersuchung einiger sehr schönen Stücke von Barton, die er zu diesem Zwecke anzufertigen die Güte hatte, bemerkte ich einige sonderbare Eigenschaften des Lichtes. Gut polirte Perlmutter gibt das centrale Bild C der Kerze oder des leuchtenden Objectes immer weiß, wie es sich auch im Voraus erwarten ließ, indem das Licht von den ebenen und polirten Flächen zwischen ihren Facetten reflektirt wird. In mehren Stücken von Barton war das Bild C gleichfalls vollkommen weiß, und die Farbenbilder, deren Zahl sechs bis acht betrug und die auf beiden Seiten von C lagen, waren vollkommne prismatische Farbenbilder der Kerze; das Bild A, das nächste an C, war am wenigsten gestört; die folgenden erschienen allmählich stärker gestört, gerade als würden sie durch Prismen mit immer größerer zerstreuender Kraft oder mit allmählich wachsenden Brechungswinkeln hervorgebracht. Die Farbenbilder hatten die festen Linien und alle prismatischen Far-

ben; die rothen, also die am wenigsten brechbaren Räume waren jedoch sehr ausgebreitet, und die violetten oder die brechbarsten sehr zusammengezogen, selbst noch mehr als in dem Spectrum der Schwefelsäure.

Indem ich einige dieser Farbenbilder, die in einigen Strahlen mangelhaft zu sein schienen, genauer betrachtete, ward ich überrascht durch die Entdeckung, daß in den diese Strahlen erzeugenden Stücken das von der vordern polirten Stahlfläche reflektirte Bild C eine schwache Färbung hatte, deren Stärke mit dem Einfallswinkel variirte, und in einigem Zusammenhange mit der Farbenverminderung der prismatischen Bilder zu stehen schien. Um einen bedeutenden Einfallswinkel zu erhalten, nahm ich statt der Kerze eine lange, schmale, rechteckige Oeffnung, schloß die Laden beinahe und sah auf der Stelle den Zustand des gewöhnlichen Bildes und der prismatischen Spectra. Der größern Deutlichkeit halber sei AB (Fig. 64) das gewöhnliche von der ebenen Stahlfläche zwischen den Facetten reflectirte Bild der Oeffnung, ab, a'b', a''b'' u. s. w. die prismatischen Spectra auf jeder Seite von AB, von denen jedes ein vollständiges Spectrum mit allen seinen Farben bildet. Das Bild AB wurde in senkrechter Richtung auf seine Länge von breiten farbigen Fransen durchschnitten, die ihre Farbe 0° bis 90° Einfallswinkel änderten. In einem Stücke mit 1000 Facetten auf den Zoll, unterschied man bei verschiedenen Einfallswinkeln deutlich folgende Farben:

	Einfallswinkel.
Weiß	90° 0'
Gelb	80 30
Röthlich Orange	77 30
Rosenroth	76 20
Verbindung von Rosenroth und Blau	75 40
Lebhaft Blau	74 30
Weißlich	71 0
Gelb	64 45
Rosenroth	59 45
Verbindung von Rosenroth und Blau	58 10
Blau	56 0
Blaugrün	54 30
Gelblich Grün	53 15

	Einfallswinkel.
Weißlich Grün	51° 0′
Weißlich Gelb	49 0
Gelb	47 15
Rosenroth Gelb	41 0
Rosenroth	36 0
Weißlich Roth	31 0
Grün	24 0
Gelb	10 0
Röthlich	0 0

Diese Farben sind die der von dünnen Plättchen reflectirten Ringe. Kehrt man die Stahlplatte ins Azimuth, so erscheinen bei denselben Einfallswinkeln dieselben Farben, und erleiden keine Veränderung, wie sich auch die Entfernung der Platten von der Oeffnung, oder der Abstand des Beobachters von den Facetten ändern mag.

In der obigen Tabelle hat man vier Reihen von Farben; diese finden sich jedoch nicht in allen Stücken, sondern in einigen hat man nur drei, in andern nur zwei, in andern nur eine, in einigen sogar nur eine oder zwei Farben der ersten Ordnung. Ein Stück von 500 Facetten auf den Zoll gab unter allen Einfallswinkeln nur das Gelb erster Ordnung. Ein Stück von 1000 Facetten gab nur eine vollständige Reihe neben einem Theile des folgenden. Ein anderes Stück von 3333 Facetten gab nur das Gelb der ersten Reihe. Ein Stück von 10000 Facetten auf den Zoll gab etwas mehr als eine Reihe.

Fig. 64 zeigt den Theil des Schirmes für die Einfallswinkel von 12° bis 76°. Im ersten Spectrum **ab ab** ist *vv* die violette, **rr** die rothe Seite und alle übrigen Farben liegen zwischen diesen beiden Räumen. Im **m** ist bei einem Einfallswinkel von 74° die violette, in **n** bei einem Winkel von 66° die rothe Farbe, und in den Zwischenpunkten zwischen **m** und **n** sind die Mittelfarben blau, grün u. s. w. vermischt. Im zweiten Spectrum **a′b′a′b′** fehlen bei einem Winkel von 66° 20′ in **m** die violetten, und bei 56° in **n′** die rothen Strahlen. Im dritten Farbenbilde **a″b″a″b″** fehlen die violetten Strahlen in **m″** bei 57°, und die rothen in **n″** bei 41° 35′, und im vierten Farbenbilde fehlen die violetten Strahlen in **m‴** bei 40° und die rothen in **n‴** bei 20° 30′. Eine ähnliche Folge der ver=

mischten Bilder findet unter kleinern Einfallswinkeln in allen prismatischen Farbenbildern statt, z. B. in $\mu\nu$, $\mu'\nu'$, wo das Violet in μ und μ', das Roth in ν und ν' und die Mittelfarben in den Zwischenpunkten fehlen. In dieser zweiten Reihe beginnt und schließt die Linie $\mu\nu$ unter demselben Einfallswinkel als die Linie m″n″ im dritten prismatischen Spectrum a″b″, und die Linie $\mu'\nu'$ im zweiten Spectrum entspricht der Linie m‴n‴ im vierten. In jedem Falle würden die vermischten Farben in den Richtungen mn, $\mu\nu$ u. s. w., wenn sie wieder hergestellt würden, ein vollständiges prismatisches Spectrum von der Länge mn, $\mu\nu$ geben u. s. w.

Sieht man das gewöhnliche Bild als weiß an, so vermischen sich die Farben auf dieselbe Weise. Das Violet vermischt sich in o, nahe bei 76°, und läßt Rosenroth stehen, die Complementärfarbe des Violet zu Weiß; das Roth vermischt sich in p und läßt ein lebhaftes Blau stehen. Das Violet fehlt in q und s, das Roth in r und t, wie man schon aus der obigen Farbentabelle sieht.

Die Analyse dieser sonderbaren und scheinbar sehr verwickelten Erscheinungen wird höchst einfach, wenn man sie im gleichartigen Lichte untersucht. Figur 65 stellt die Wirkung auf das rothe Licht dar; AB ist das von der Vorderfläche des Stahls reflectirte Bild einer schmalen Oeffnung, und die vier Bilder auf jeder Seite entsprechen den prismatischen Bildern. Die neuen Bilder sind aus gleichartigem rothen Lichte zusammengesetzt, welches beinahe oder gänzlich in den funfzehn dunklen Rectangeln verwischt ist, den Minimis der neuen Reihe periodischer Farben, welche die gewöhnlichen und die Seitenbilder durchkreuzen.

Die Mittelpunkte p, r, t, u, v u. s. w. dieser Rectangel correspondiren mit den gleichen Buchstaben in Fig. 64, und hätte man dieselbe Figur für violettes Licht gezeichnet, so würden die Mittelpunkte der Rectangel höher gelegen und den Punkten o, p, s, m, p u. s. w. in Fig. 64 entsprochen haben. Die Rectangel hätten schattirt werden müssen, wenn sie die Phänomene genau darstellen sollten, allein der Zweck der Zeichnung war nur, die Lage und das Verhältniß der Minima zu zeigen.

Bedeckt man die facettirte Stahlfläche mit einer Flüssigkeit, um die brechende Kraft der Fläche zu verringern, so entwickeln sich mehre Reihen von Farben in dem gewöhnlichen Bilde und mehre Minima

in den Seitenbildern, wobei ein bestimmter Einfallswinkel die stärksten Farben erzeugt. Sehr bemerkenswerth ist aber dabei, daß, wenn das gewöhnliche Bild völlig weiß und die Spectra vollständig ohne vermischte Farben sind, dann die Flüssigkeit auf der facettirten Fläche im gewöhnlichen Bilde Farben entwickelt und in den Seitenbildern Farben verwischt. Folgendes sind einige der Resultate in Bezug auf das gewöhnliche Bild.

Anzahl der Facetten auf den Zoll.	Höchste Färbung ohne Flüssigkeit.	Höchste Färbung bei angewandter Flüssigkeit.
312	Vollkommen Weiß	1) Wasser, Nüancirung von Gelb 2) Alcohol, Nüancirung von Gelb 3) Cassiaöl, blaßröthlich Gelb
3333	Gummiguttgelb erster Ordnung	1) Wasser, Rosenroth (1. Ordnung) 2) Alcohol, röthlich Rosenroth 3) Cassiaöl, brillant Blau (2. Ordnung).

Ganz den beschriebenen ähnliche Phänomene zeigen sich auf facettirten Oberflächen von Gold, Silber und Kalkspath, und auf den mit Stahlfacetten bedruckten Flächen von Zinn, Hausenblase, Rauschgelb u. s. w. Eine genauere Beschreibung der an einzelnen dieser Substanzen wahrgenommenen Phänomene findet man in einer Original-Abhandlung über diesen Gegenstand in den **Philosophical Transactions** vom Jahre 1829.

Funfzehntes Capitel.

Anwandlung zur leichtern Reflexion und Transmission. Interferenz des Lichtes.

§. 83.

In den vorhergehenden Capiteln haben wir eine sehr ausgebreitete Classe von Phänomenen beschrieben, die alle denselben Ursprung zu haben schienen. Newton zog aus seinen Versuchen über die Farben dicker und dünner Platten den Schluß, daß diese hervorgebracht würden durch eine besondere Eigenschaft der Lichttheilchen, zufolge welcher sie in verschiedenen Punkten ihres Durchganges eine Anwandlung oder Disposition hatten, von den transparenten Körpern reflectirt oder durchgelassen zu werden. Er macht keinen Anspruch darauf, den Grund dieser Neigungen erklären zu wollen; man kann sich jedoch eine ziemlich gute Vorstellung davon machen, wenn man annimmt, daß jedes Lichttheilchen, nachdem es von dem leuchtenden Körper ausgeschickt worden ist,

um eine auf die Richtung seiner Bewegung senkrechte Axe rotire, wobei es abwechselnd der Linie seiner Bewegung einen anziehenden und abstoßenden Pol darbietet, und gebrochen, wenn der anziehende Pol sehr nahe an einer brechenden Fläche, auf welche es fallen könnte, liegt, und reflectirt wird, wenn der abstoßende Pol sehr nahe an dieser Fläche liegt. Die Anwandlung zur Reflexion und zum Brechen ist natürlich größer oder kleiner, sowie der Abstand eines der Pole von der Fläche des Körpers größer oder kleiner wird. Man kann sich eine freilich nicht sehr wissenschaftliche Idee von dieser Hypotese machen, wenn man annimmt, daß ein Körper mit einem spitzen und einem stumpfen Ende durch den Raum geht, und abwechselnd sein spitzes oder stumpfes Ende der Bewegungslinie darbietet. Trifft dann das spitze Ende einen weichen Körper bei seinem Fortgange an, so durchdringt es diesen, begegnet aber das stumpfe Ende demselben Objecte, so wird es abgestoßen oder reflectirt.

Der größern Deutlichkeit halber sei **R** (Fig. 66) ein Lichtstrahl, welcher auf die brechende Fläche **MN** fällt, und von dieser durchgelassen wird. Offenbar war dann das Licht, als es der Fläche **MN** begegnete, näher an seiner Anwandlung zum Durchgange als an der zur Reflexion; allein mag es sich genau in seiner Anwandlung zum Durchgange oder nahe daran befinden, es wird durch die Wirkung der Fläche in denselben Zustand gesetzt, als wenn seine Anwandlung zum Durchgange in **t** angefangen hätte. Gesetzt nun, daß seine Anwandlung zur Reflexion anfinge, nachdem es einen dem **tr** gleichen Raum durchlaufen hat, wo dann seine Anwandlung zum Durchgange in den Punkten **t**, **t'**, u. s. w., und seine Anwandlung zur Reflexion in den Punkten **r**, **r'** u. s. w. immer wieder von Neuem beginnt, dann ist klar, daß, wenn der Lichtstrahl einer zweiten transparenten Fläche in **t**, **t'** u. s. w. begegnet, derselbe durchgelassen, wenn er ihr aber in **r**, **r'** u. s. w. begegnet, reflectirt wird. Die Räume **tt'**, **t't''** u. s. w. heißen die Intervalle der Anwandlung zum Durchgange und **rr'**, **r'r''** u. s. w. die Intervalle der Anwandlung zur Reflexion. Da nun die Räume **tt'**, **rr'** für Licht von derselben Farbe als gleich angenommen werden, so wird der Strahl, wenn **MN** die Vorderfläche eines Körpers ist, durchgelassen werden, falls die Dicke des Körpers **tt'**, **t't''** u. s. w., d. h. **tt'**, 2 **tt'**, 3 **tt'**, 4 **tt'**, **ztt'**, also ein beliebiges Vielfaches des Intervalls der Anwandlung zum leichtern Durchlassen ist. Auf

dieselbe Weise wird der Strahl reflectirt, wenn die Dicke des Körpers tr, tr′ u. s. w. oder da tt′ gleich rr′ ist, wenn die Dicke des Körpers $\frac{1}{2}$tt′, 1$\frac{1}{2}$tt′, 2$\frac{1}{2}$tt′, 3$\frac{1}{2}$tt′ u. s. w. beträgt. Hätte also der Körper MN parallele Flächen und brächte man das Auge dergestalt über ihn, daß es die lothrecht reflectirten Strahlen auffinge, so würde man in jedem Falle die Fläche MN durch die Lichtmasse sehen, die gleichförmig von dieser Fläche reflectirt wird; betrüge dann aber die Dicke des Körpers tt′, 2 tt′, 3 tt′, 4 tt′ oder 1000 tt′, so würde das Auge von der Hinterfläche keinen Lichtstrahl empfangen, weil sie sämmtlich durchgelassen würden; auf gleiche Weise würde das Auge, wenn die Dicke $\frac{1}{2}$ tt′, 1$\frac{1}{2}$ tt′, 2$\frac{1}{2}$ tt′ oder 1000$\frac{1}{2}$ tt′ betrüge, sämmtliches Licht von der Hinterfläche reflectirt erhalten, weil dasselbe vollständig zurückgeworfen würde. Wenn das reflectirte Licht dann, bei seiner Richtung nach dem Auge, der Vorderfläche begegnet, so wird es vollständig durchgelassen, wenn es sich dann in seiner Anwandlung zum Durchgange befindet. Im ersten Falle würde also das Auge kein Licht von der Hinterfläche, im zweiten Falle würde es alles Licht von ihr erhalten. Fiele die Dicke des Körpers zwischen tt′ und 2 tt′ u. s. w., betrüge sie z. B. $\frac{3}{4}$ tt′, so würde die Hinterfläche einen Theil des Lichtes reflectiren, der größer würde, bei einer Vergrößerung von tt′ bis 1$\frac{1}{2}$ tt′ und kleiner bei einer Vergrößerung der Dicke von 1$\frac{1}{2}$ tt′ bis 2 tt′.

Nehmen wir aber an, daß die Platte, deren Fläche MN ist, eine ungleiche Dicke hat, wie z. B. eine Luftschicht zwischen zwei Linsen oder ein Stück geblasenen Glases, und setzen wir etwa voraus, daß die Dicke variirt wie der Kegel MNP (Fig. 67), und daß tt′, rr′, die Intervalle der Anwandlungen sind, und daß das Auge sich wie vorhin über dem Kegel befindet, so wird das Licht, welches nahe beim Punkte N auf die Hinterfläche NP fällt, vollkommen durchgelassen, weil es sich in der Anwandlung zum Durchgange befindet; in der Dicke tr aber wird das Licht R von der Hinterfläche reflectirt, weil es sich da in seiner Anwandlung zur Reflexion befindet. Auf diese Weise wird das Licht in t′ durchgelassen, in r′ reflectirt, in t″ durchgelassen, so daß das Auge über MN eine Reihe dunkler und heller Streifen sieht, wobei die Mitte der dunkeln Streifen sich in N, t′, t″ auf der Linie NP, und die Mitte der leuchtenden Streifen sich in r, r′r″ auf derselben Linie befindet. Nehmen wir an, daß die Zeichnung für gleichartiges rothes Licht gemacht sei, wo also tt′ das Intervall der An-

wandlung für diese Art von Licht sein müßte, so ist das Intervall zur Anwandlung für das violette Licht V kleiner etwa $\tau\varrho$. Bedient man sich also des violetten Lichtes, für welche das Intervall der Anwandlungen $\tau\varrho$ ist, so sieht man eine kleinere Reihe violetter und dunkler Streifen oder Fransen, deren dunkelste Punkte in N, $\tau'\tau''$, deren hellste Punkte in ϱ, ϱ' u. s. w. sich befinden. Auf dieselbe Weise bilden sich mit den Zwischenfarben des Spectrums Streifen von mittlern Größen, deren dunkelste Punkte zwischen τ' und t′, τ'' und t″, und deren hellste zwischen r und ϱ, r′ und ϱ' u. s. w. liegen; und wenn man sich des weißen Lichtes bedient, so geben diese Streifen von verschiedenen Farben die in der Tabelle (§. 75.) angeführten Fransen der verschiedenen Farbenordnungen. Wäre **MNP**, statt der Durchschnitt eines Prisma zu sein, der Durchschnitt der Hälfte einer Plan-concavlinse, deren Centrum in **N** liegt und deren Concavfläche eine etwas schräge Richtung wie **NP** hätte, so würde die Richtung der Streifen immer lothrecht auf den Halbmesser **NP** stehen, oder die Streifen würden regelmäßige Kreise werden. Aus demselben Grunde sind die farbigen Streifen bei einer Concavlinse aus Luft, welche zwischen Glas eingeschlossen ist, kreisförmig, indem immer dieselbe Farbe an den gleich dicken Stellen des Mediums oder in gleichem Abstande vom Mittelpunkte erscheint.

Newton erklärte durch dieselben Mittel die Farben dicker Platten mit dem einzigen Unterschiede, daß in diesem Falle die Fransen nicht von dem durch die Flächen des Concavspiegels regelmäßig reflectirten und gebrochenen Lichte erzeugt werden, sondern durch das von der Vorderfläche des Spiegels wegen dessen unvollkommener Politur unregelmäßig verbreitete Licht; denn er machte die Bemerkung, daß kein Glas oder kein Spiegel eine so vollkommene Politur habe, daß es nicht außer dem regelmäßig reflectirten und gebrochenen Lichte ein schwaches unregelmäßiges Licht verbreite, mittelst dessen man die polirte Fläche in allen ihren Lagen erblickt, wenn sie in einem dunkeln Zimmer von einem Sonnenstrahl erleuchtet wird.

Diese Theorie der Anwandlungen erklärt auch mit Leichtigkeit die Phänomene doppelter und gleich dicker Platten, die wir in einem andern Capitel beschrieben haben. Es gibt jedoch andere Lichtphänomene, auf die sie sich nicht so gut anwenden läßt; deßhalb ist sie größtentheils durch die nachstehende Theorie der Interferenz verdrängt worden.

§. 84.

Bei der Untersuchung der weißen und schwarzen Streifen, die sich bei der Beugung des Lichts in dem Schatten des Körpers zeigen, fand Young, als er einen dunkeln Schirm vor oder hinter einer Seite des beugenden Körpers **B** (Fig. 56) dergestalt aufstellte, daß alles Licht von dieser Seite abgeschnitten wurde, daß bei'm Auffangen des Randes von dem Schatten auf dem Schirme alle Fransen des Schattens beständig verschwanden, obgleich das Licht wie vorhin am andern Rande des Körpers vorbeiging. Er zog daraus den Schluß: zur Erzeugung der Fransen sei das an beiden Seiten des Körpers vorbeigehende Licht nothwendig, was er auch schon aus der bekannten Thatsache hätte abnehmen können, daß in dem Schatten des Körpers keine Fransen entstehen, wenn dieser eine gewisse Größe überschreitet. Beim Nachdenken über diesen Gegenstand wurde Young auf den Gedanken geleitet, daß die Fransen im Schatten durch die Interferenz der im Schatten gekrümmten Lichtstrahlen auf der einen Seite des Körpers **B** mit den im Schatten gekrümmten Lichtstrahlen auf der andern Seite erzeugt würden.

Zur Erklärung des durch diesen Versuch angezeigten Gesetzes der Interferenz wollen wir annehmen, daß zwei Lichtbüschel von zwei nahe bei einander liegenden Punkten aus divergiren und daß dieses Licht an einer einzigen Stelle auf ein mit der Verbindungslinie jener Punkte paralleles Stück Papier dergestalt falle, daß diese Stelle gerade der Mitte zwischen den beiden strahlenden Punkten gegenüber liege.

In diesem Falle darf man behaupten, daß sie sich einander interferiren, weil die Büschel sich an dieser Stelle nach Fortnahme des Papiers kreuzen und dann divergiren würden. Diese Stelle ist daher von der Summe beider Lichte erleuchtet, und für gegenwärtigen Fall haben beide Lichtbüschel einen gleich langen Weg gemacht, weil der Fleck auf dem Papiere von beiden strahlenden Punkten gleich weit entfernt ist. Man hat aber gefunden, daß wenn die Wege der beiden Lichtbüschel um eine geringe Differenz verschieden sind, die Stelle auf dem Papiere, wo die beiden Lichte sich interferiren, gleichfalls noch ein lebhafter, von der Summe der beiden Lichter erleuchteter Fleck ist. Nennt man die Differenz in der Länge der Wege der Lichtbüschel **d**, so werden die

strahlenden Punkte durch die Interferenz der beiden Lichtstrahlen gebildet, wenn die Differenz in den Längen ihrer Wege d, 2 d, 3 d, 4 d u. s. w. ist. Alles dieses sind Thatsachen, die man täglich wahrnehmen kann; in der That merkwürdig und bisher unbeachtet geblieben ist aber der Umstand, daß die beiden Lichtbüschel, wenn sie sich in den Zwischenpunkten interferiren, oder an Stellen, wo die Differenz in der Länge ihrer Wege $\frac{1}{2}$ d, $1\frac{1}{2}$ d, $2\frac{1}{2}$ d, $3\frac{1}{2}$ d u. s. w. beträgt, statt gegenseitig ihre Intensität zu vermehren und eine der Summe ihres Lichtes gleiche Helligkeit zu erzeugen, sich gegenseitig vernichten und einen dunkeln Fleck bilden. Diese merkwürdige Eigenschaft entspricht dem Zusammenstimmen zweier musikalischer Töne, die beinahe in Einklang mit einander sind; das Zusammenstimmen findet statt, wenn der Effect beider Töne der Summe ihrer einzelnen Intensitäten gleich ist, was den leuchtenden Flecken den Fransen entspricht, wenn die Wirkung beider Lichter der Summe ihrer einzelnen Intensitäten gleich ist; und der Ton hört in den Schwingungen auf, wenn die beiden Töne sich vernichten, was den dunkeln Flecken oder Fransen entspricht, wenn die beiden Lichter Finsterniß erzeugen. Diese Theorie erklärt mit Leichtigkeit die Phänomene der Inflexion des Lichtes und dünner und dicker Plättchen. Rücksichtlich der innern oder im Schatten gelegenen Fransen ist klar, daß, da der Mittelpunkt des Schattens im gleichen Abstande von den Rändern des beugenden Körpers B (Fig. 56) liegt, die von den Rändern des Körpers kommenden Lichtbüschel einen gleich langen Weg machen; folglich muß es längs der Mitte eines jeden schmalen Schattens einen weißen Fleck geben, welcher von der Summe des Lichtes beider gebeugten Büschel erleuchtet wird; in jedem vom Mittelpunkte des Schattens so weit entlegenen Punkte dagegen, daß die Differenz der Wege der Lichtbüschel $\frac{1}{2}$ d beträgt, müssen die beiden Lichtbüschel sich vernichten und einen schwarzen Streifen bilden. Dadurch entsteht denn auf jeder Seite des centralen leuchtenden Streifens ein schwarzer Streifen. Auf diese Weise ist ersichtlich, daß in jedem vom Mittelpunkte des Schattens so weit abliegenden Punkte, daß der Unterschied der Wege 2 d, 3 d, 4 d u. s. w. beträgt, helle Streifen, und in den Zwischenpunkten, wo die Differenz der Länge der Wege $1\frac{1}{2}$ d, $2\frac{1}{2}$ d u. s. w. beträgt, dunkele Streifen entstehen müssen.

Den Ursprung der äußern Fransen suchten Young und Fres-

nel in der Interferenz der directen Strahlen mit andern Strahlen, die vom Rande des beugenden Körpers reflectirt werden; Fresnel fand jedoch diese Fransen auch dann, wenn keine solche Reflexion statthaben konnte, und zeigte das Ungenügende dieser Erklärung selbst für den Fall, wenn es solche reflectirte Strahlen gab. Er schreibt deßhalb die Entstehung dieser Fransen der Interferenz der directen Strahlen mit solchen Strahlen zu, die in einem merklichen Abstande am beugenden Körper vorbeigehen und von ihrer Richtung abgelenkt werden. Es beweist das Vorhandensein solcher Strahlen aus der Undulationstheorie, die wir in der Folge mittheilen wollen.

Auf eine bewunderungswürdige einfache Weise erklärt sich die Farbenerscheinung dünner Plättchen aus der Interferenz. Das von der Hinterfläche des Plättchens reflectirte Licht interferirt sich mit dem von der Vorderfläche zurückgeworfenen, und da diese beiden Lichtbüschel aus verschiedenen Punkten des Raumes kommen, so erreichen sie das Auge unter verschiedenen langen Wegen. Es entstehen daher durch ihre Interferenz leuchtende Fransen, wenn die Differenz der Wege $\frac{1}{2}$ d, $1\frac{1}{2}$ d, $2\frac{1}{2}$ d u. s. w. beträgt.

Bei den von Newton beobachteten Farben dicker Platten fällt das unregelmäßig von der Vorderfläche des Convexspiegels verbreitete Licht divergirend auf die Hinterfläche; von dieser wird es in Linien, die von einem hinter ihr liegenden Punkte aus divergiren, reflectirt, beim Austreten aus der Vorderfläche gebrochen, und divergirt nun, als käme es von einem näher am Spiegel, aber hinter ihm liegenden Punkte her. Von diesem letzten Punkte wird also der Schirm MN (Fig. 60) erleuchtet durch Strahlen, die bei ihrem Eintritte in die Hinterfläche zerstreut werden. Tritt aber das regelmäßig reflectirte Licht, nachdem es von der Hinterfläche reflectirt worden ist, aus der Vorderfläche heraus, so wird es von jedem Punkte der Fläche unregelmäßig zerstreut und gelangt so auf den Papierschirm MN. Auf diese Weise wird der Schirm von zwei Arten zerstreuten Lichtes erleuchtet; die erstere strahlt von jedem Punkte der Vorderfläche aus, die letztere von Punkten, welche hinter der Hinterfläche liegen. Dadurch bilden sich denn, wenn die Differenz der Wege die oben angegebene ist, leuchtende und dunkele Streifen.

Aus dem Gesetze der Interferenz erklären sich auch die Farben zweier Platten von gleicher Dicke und gleicher Neigung. Obgleich das

von den einzelnen Flächen der Platte reflectirte Licht parallel ausfährt, wie in (Fig. 61), so gelangt es doch wegen der Neigung der Platten auf verschieden langen Wegen in das Auge.

Die Farben dünner Fasern, kleiner Staubtheilchen, beschmutzter und radirter Flächen und paralleler Linien lassen sich auf die Interferenz verschiedener Theile des Lichtes zurückführen, die das Auge auf verschieden langen Wegen erreichen, und wenn auch einige Schwierigkeiten bei der Anwendung dieser Theorie auf einzelne Erscheinungen, die man noch nicht genau genug kennt, stattfinden, so ist es doch sehr wahrscheinlich, daß diese Schwierigkeiten durch sorgfältigere Untersuchungen gehoben werden können.

Alle Erscheinungen der Interferenz sind von der Größe d abhängig; es ist deßhalb richtig, ihren genauen Werth für jeden farbigen Strahl, und wenn es möglich ist, zugleich einen Grund für ihre Entstehung aufzufinden. Die Größe d muß, wie Fraunhofer bemerkt hat, eine absolute reelle Größe sein, und es läßt sich, welche Bedeutung man ihr auch geben mag, zeigen, daß rücksichtlich der erzeugten Phänomene ihre eine Hälfte die entgegengesetzten Eigenschaften der andern Hälfte besitzt, so daß, wenn ihre erstere Hälfte sich genau mit der zweiten verbindet, oder unter einem kleinen Winkel interferirt, die Wirkung jeder einzelnen vernichtet wird, während sie sich verdoppelt, wenn die beiden vordern oder die beiden hintern Hälften dieser Größe sich auf eine ähnliche Weise verbinden oder interferiren.

§. 85.

In der Lichtlehre von Newton, der sogenannten Emanationstheorie, nach welcher das Licht aus materiellen Moleculen besteht, die von den leuchtenden Körpern ausgeschickt werden, und sich im Raume mit einer Geschwindigkeit von 192000 Meilen auf die Zeitsekunde bewegen, ist die Größe d das Doppelte des Intervalls der Anwandlung zu einer leichten Reflexion und Refraction; in der Undulationstheorie ist sie der Breite einer Schwingung oder einer Lichtwelle gleich. In der letztern Theorie nimmt man an, daß der ganze Raum mit einer sehr dünnen und äußerst elastischen Flüssigkeit, dem sogenannten Aether, angefüllt ist, welcher die Zwischenräume aller Körper durchdringt. Der Aether muß eine sehr dünne Substanz sein, weil er den in ihm sich bewegenden Planeten keinen merklichen Widerstand leistet.

Die Theile des Aethers können, wie die der atmosphärischen Luft,

durch die Bewegungen der Molecule der Materie in Schwingungen gesetzt werden, die sich nach allen Richtungen fortpflanzen. In den brechenden Mediis ist der Aether weniger elastisch als im leeren Raume, und seine Elasticität nimmt ab mit dem Brechungsvermögen der Körper.

Die Undulationen oder Vibrationen des Lichtes pflanzen sich in dem Aether fort, gelangen dadurch zu den Nerven auf der Netzhaut des Auges und verursachen die Empfindungen des Lichtes auf eine ähnliche Weise, wie die Gehörsnerven durch die Schwingungen der Töne afficirt werden.

Man nimmt an, daß die Verschiedenheit der Farben von einer langsamern oder raschern Aufeinanderfolge der Schwingungen herrühre; Roth entsteht durch eine viel geringere Anzahl von Schwingungen in einer bestimmten Zeit, als Blau; die zwischen ihnen liegenden Farben werden durch eine mittlere Anzahl von Schwingungen hervorgebracht. Jede dieser beiden Theorien hat ihre eigenthümlichen Schwierigkeiten; jedoch hat die Undulationslehre in neuen Zeiten bedeutende Fortschritte gemacht, und läßt sich auf eine so große Menge von Erscheinungen anwenden, daß sie gegenwärtig von den meisten ausgezeichneten Physikern angenommen wird.

In einem Werke, wie dem vorliegenden, kann es nicht zum Zwecke gehören, die Principien der Undulationstheorie im Detail auseinanderzusetzen. Wir begnügen uns mit der Bemerkung, daß die Lehre von der Interferenz im vollkommenen Einklange mit dieser Theorie steht. Verbinden sich ähnliche Lichtwellen so mit einander, daß die Erhöhungen und Vertiefungen beider zusammenfallen, so entsteht eine Lichtwelle von doppelter Größe, fällt aber die Erhöhung der einen in die Vertiefung der andern, so vernichten sich beide gänzlich. »Die Fluth und Ebbe des Meeres zur Zeit der Springfluthen« sagt Young, »die eine Verbindung der vom Monde und von der Sonne bewirkten einzelnen Fluthen sind, geben ein mächtiges Beispiel der Interferenz zweier ungeheuern Wellen, indem die Springfluth das Resultat der Verbindung ist, wenn die Wellen der Zeit und dem Orte nach zusammenfallen, und die Ebbe, wenn die Wellen im Abstand eines halben Intervalls auf einander so folgen, daß nur die Differenz ihrer Wirkungen merklich wird. Die von Halley und Newton beschriebenen Fluthen im Hafen von Batsha sind nur eine verschiedene Mo-

dification desselben Wellenstreites, indem die gewöhnlichen Zeiten der Fluth und Ebbe gänzlich vernichtet werden durch die verschiedene Länge der beiden Kanäle, durch welche die Fluth in den Hafen gelangt; diese verschiedene Länge ist dem halben Intervalle gleich, welches das Verschwinden der Alternative verursacht. Auch an zwei Steinen, die man in stillstehendes Wasser wirft, kann man wahrnehmen, daß die erzeugten Wellenringe in gewissen hyperbelförmigen Linien sich vernichten und die Oberfläche des Wassers ruhig lassen, während diese an andern Stellen eine Bewegung zeigt, die den beiden Reihen von Wellen angehört.«

Folgende von Herschel aufgestellte Tabelle enthält die Hauptdata der Undulationstheorie.

Farben des Spectrums.	Länge einer Lichtwelle in Theilen eines Zolles.	Anzahl der Wellen auf einen Zoll.	Anzahl der Wellen in der Sekunde.
Aeußerstes Roth	0,0000266	37640	458 Billionen
Roth	0,0000256	39180	477 "
Mittelfarbe	0,0000246	40720	495 "
Orange	0,0000240	41610	506 "
Mittelfarbe	0,0000235	42510	517 "
Gelb	0,0000227	44000	535 "
Mittelfarbe	0,0000219	45600	555 "
Grün	0,0000211	47460	577 "
Mittelfarbe	0,0000203	49320	600 "
Blau	0,0000196	51110	622 "
Mittelfarbe	0,0000189	52910	644 "
Indigo	0,0000185	54070	658 "
Mittelfarbe	0,0000181	55240	672 "
Violet	0,0000174	57490	696 "
Aeußerstes Violet	0,0000167	59750	727 "

Aus dieser Tabelle ergibt sich, wie Herschel sagt, daß die Sensibilität des Auges in viel engere Grenzen eingeschlossen ist, als die des Ohres, indem das Verhältniß der äußersten Schwingungen nahe 1,58 zu 1, also kleiner als eine Octave und sehr nahe einer kleinen Sexte gleich ist. Es ist eine erstaunenswürdige Sache, daß der Mensch so kleine Zeit- und Raumtheile messen kann; denn welcher Theorie des Lichtes man auch huldigen mag, diese Perioden und Räume existiren in der Wirklichkeit und sind direkt von Newton gemessen; man findet darin weiter nichts Hypothetisches, als die Namen, die man ihnen gibt.

Sechzehntes Capitel.

Absorption des Lichtes.

§. 86.

Eine der merkwürdigsten Eigenschaften der Körper in ihren Wirkungen auf das Licht, die wir zur Erklärung optischer Phänomene für sehr wichtig und in optischen Untersuchungen für sehr nützlich halten, ist das Vermögen der Körper, das Licht zu absorbiren oder zu verschlucken. Selbst die transparentesten Körper in der Natur können bei hinlänglicher Dicke eine große Menge Licht absorbiren. Auf dem Gipfel der höchsten Berge sieht man viel mehr Sterne als in den Ebenen, weil auf den Bergen das Licht eine geringe Menge Luft durchschreitet; und in einer großen Tiefe unter dem Wasser werden die Gegenstände fast unsichtbar. Die Farben des Gewölkes am Morgen und am Abende zeigen die Absorptionskraft der Luft, und die rothe Farbe der am Mittage aus der Taucherglocke in einer großen Tiefe des Meeres gesehenen Sonne die Absorptionskraft des Wassers. In jedem Falle wird eine Classe der Lichtstrahlen bei ihrem Durchgange durch das absorbirende Medium schneller absorbirt als eine andere, wobei denn die übrigen Strahlen in dem einen Falle in das Gewölk, in dem andern in das Auge treten.

In der Natur finden sich Körper von allen Graden der Absorptionskraft, wie die folgende Tabelle zeigt:

Holzkohle	Obsidian
Kohlen aller Art . . .	Bergkrystall
Metalle im Allgemeinen .	Selenit
Silber	Glas
Gold	Glimmer
Hornblende	Transparente Flüssigkeiten
Schwarzer Pleonast . .	Luft und Gas.

Obgleich die Holzkohle die größte Absorptionskraft besitzt, so ist sie doch in sehr kleine Theile getheilt, wie in mehren Gasen und Flammen oder in einem besondern Zustande von Verbindung, wie im Diamant, äußerst transparent. Ebenso sind alle Metalle transparent, wenn sie sich im Zustande der Auflösung befinden. Gold und Silber zu dünnen Blättchen ausgewalzt, werden transparent; das erste gibt ein schönes blaues, das zweite ein schönes grünes Licht. Die Ursache des Absorptionsvermögens der Körper haben die Physiker bis jetzt nicht ergründen

können. Einige waren der Meinung, die Lichttheilchen würden nach allen Seiten von den Moleculen des absorbirenden Körpers reflectirt, oder von einer den Moleculen inwohnenden Kraft von ihrer Richtung abgelenkt; Andere glaubten, sie würden von dem Körper zurückgehalten und seiner Substanz assimilirt. Würden die Molecule des Lichtes reflectirt, oder durch die Wirkung der Körpertheile bloß von ihrer Richtung abgelenkt, so könnte man, wie es scheint, beweisen, daß eine im starken Lichte befindliche sehr dunkle Materie, wie z. B. Holzkohle, phosphorescent oder zum wenigsten weiß werden müßte, während sie erleuchtet wird; da aber das Licht, welches in die Materie eindringt, nicht wieder zum Vorschein kommt, so muß man, so lange das Gegentheil nicht bewiesen ist, glauben, es werde von den Körpertheilen zurückgehalten und bleibe in der Gestalt einer imponderabeln Substanz in dem Körper zurück.

Eine Vorstellung von dem Gesetze, nach welchem ein Körper das Licht absorbirt, kann man sich durch die Annahme machen, daß derselbe aus einer bestimmten Zahl gleich dünner Plättchen mit brechenden Flächen bestehe, von denen kein Licht durch die Reflexion verloren geht. Hat das erste Plättchen die Kraft, $\frac{1}{10}$ des sie durchdringenden Lichtes oder 100 Strahlen von 1000 zu absorbiren, so gelangen auf das zweite Plättchen $\frac{9}{10}$ des ursprünglichen Lichtes oder 900 Strahlen; $\frac{1}{10}$ dieser Strahlen oder 90 werden absorbirt, es fallen also 810 auf das dritte Plättchen u. s. w. Hiernach ist klar, daß die von einer bestimmten Anzahl Plättchen absorbirte Lichtmasse gleich ist dem durch ein einziges Plättchen durchgelassenen Lichte, so viele Male mit sich selbst multiplicirt, als es solcher Plättchen gibt. Werden also 1000 Strahlen von einer einzigen Schicht durchgelassen, so beträgt die von 3 Plättchen durchgelassene Lichtmasse $\frac{9}{10}$ Mal $\frac{9}{10}$ Mal $\frac{9}{10}$, oder $\frac{729}{1000}$, oder 729 Strahlen; die absorbirte Quantität also 271 Strahlen. Unter den verschiedenen Körpern, die eine große Masse Licht absorbiren, gibt es nur wenige, welche alle Farben des Spectrums in gleichen Quantitäten verschlucken. Während einige Wolken alle blauen Strahlen absorbiren und die rothen durchlassen, absorbiren andere sämmtliche Strahlen in gleicher Menge, und die durch ihre Dicke gesehene Sonne und Mond erscheinen in einer schönen weißen Farbe. Mit Wasser verdünnte Dinte ist ein Fluidum, welches alle Lichtstrahlen in gleichem Verhältnisse verschluckt; deßhalb wählte sie auch Herschel als schwarze

Substanz, um ein weißes Sonnenbild zu erhalten. Der schwarze Pleonast und der Obsidian sind Beispiele von festen Körpern, welche alle Farben des Spectrums in gleicher Menge verschlucken.

§. 87.

Alle festen und flüssigen transparenten Körper absorbiren indeß die Farben nicht proportional, denn nur wegen der ungleichen Absorption lassen sie das durchgelassene Licht farbig erscheinen. Um die Absorptionskraft kennen zu lernen, nehme man ein dickes Stück von dem blauen Glase, aus welchem die Brillen verfertigt werden; man findet von diesem zuweilen cylinderische Stäbe von $\frac{3}{10}$ Zoll Durchmesser; man schneide daraus einen Kegel. Dann erzeuge man mit einem Prisma das Farbenbild einer Kerze oder besser das einer rechteckigen schmalen Oeffnung in dem Fensterladen, und untersuche das prismatische Bild durch den verfertigten Glaskegel. Am dünnsten Ende erscheint das Spectrum beinahe eben so vollständig als vorher; sowie man aber allmählich zu größerer Dicken gelangt, verschwächen sich gewisse Theile oder Farben des Spectrums immer mehr und verschwinden allmählich, während andere nur sehr wenig von ihrer Helligkeit verlieren. Beträgt die Dicke beinahe $\frac{1}{20}$ Zoll, so hat das Spectrum die Gestalt wie Fig. 68; die Mitte R vom Roth ist gänzlich absorbirt, das innere Roth in geringerer Intensität vorhanden. Das Orange ist gänzlich absorbirt; das Gelb Y steht fast isolirt; in dem Grün G ist eine Seite des Gelben sehr absorbirt, das Grün und Blau sind nur schwach absorbirt. In einer noch größern Dicke nimmt das innere Roth sowie das Gelb, Grün und Blau schnell ab; in einer gewissen Dicke endlich, werden alle Mittelfarben absorbirt und es bleiben nur die beiden Enden, das Roth R und das Violett V wie in (Fig. 69). Da das rothe Licht R eine viel größere Intensität hat als das Violette, so erscheint das Glas in dieser Dicke roth; bei geringerer Dicke sieht es blau aus.

Andere farbige Media absorbiren nicht die Mitte des Spectrums, sondern einige von ihnen das eine, andere das entgegengesetzte, und noch andere beide Enden. Rothe Gläser z. B. absorbiren sehr stark Blau und Violett. Eine dünne Platte natürlichen gelben Auripigments absorbirt sehr stark die brechbaren blauen und violetten Strahlen, dagegen Roth, Gelb und Grün nur sehr wenig.

Schwefelsaures Kupfer greift beide Enden zugleich an, und ab-

sorbirt mit großer Heftigkeit Roth und Violett. Durch eine Aufeinanderfolge dieser verschiedenen Absorptionskräfte kann man eine merkwürdige Erscheinung erhalten. Sieht man durch blaues Glas so, daß das Spectrum wie (Fig. 69) erscheint, und betrachtet man dieses Spectrum dann von Neuem durch eine dünne Platte schwefelsauren Kupfers, welches die äußersten Strahlen in R und V absorbirt, so sind die beiden mit einander verbundenen Substanzen völlig dunkel und kein Strahl gelangt zum Auge. Diese Wirkung würde vielleicht noch frappanter, wenn man ein weißes helles Object durch die beiden verbundenen Media betrachtete.

§. 88.

Bei meinen Untersuchungen über den Einfluß der Wärme auf die absorbirende Kraft des farbigen Mittels überraschte mich die Entdeckung, daß dieser in verschiedenen Gläsern gerade entgegengesetzt war; sie verminderte die Absorptionskraft des einen und vermehrte die des andern. Ich erhitzte ein purpurfarbiges Glas, welches den größten Theil von Grün, das Gelb und das innere oder das brechbarste Roth absorbirte, bis zum Rothglühen und setzte es dann einem starken Lichte aus; als seine Rothglühhitze vorüber war, hatte sich die Transparenz des Glases vergrößert und es ließ das innere Roth, Grün und Gelb, welches es zuvor stark absorbirt hatte, frei durchgehen. Indessen verschwand diese Wirkung allmählich, und als das Glas sich ganz abgekühlt hatte, erhielt es seine anfängliche Absorptionskraft wieder.

Ich erhitzte auf gleiche Weise ein Stück gelblich grünen Glases, und dieses verlor fast ganz seine Durchsichtigkeit. Bei der Wiederannahme seiner grünen Farbe ging es durch mehrere Nüanzen von Olivengrün; abgekühlt war es jedoch weniger grün als vor dem Versuche. Ein Theil des Glases hatte bei der Abkältung eine polarisirte Structur angenommen, und man konnte diese Stelle von dem übrigen Glase durch seine verschiedenen Farben unterscheiden.

Eine dunkelrothe Glasplatte, welche ein gleichartiges rothes Kerzenbild gab, wurde nach Erhitzung sehr dunkel und ließ kaum das Licht der Kerze durch, als seine Hitze die Rothglühhitze überschritten hatte. Bei einem gewissen Grade der Wärme erhielt es seine frühere Durchsichtigkeit wieder; kalt aber war es dunkler als vor dem Versuche. Aehnliche Erscheinungen habe ich an mineralischen Substanzen wahrgenommen. In gewissen Exemplaren von Topas ändert die

Wärme fortwährend die Absorptionskraft. Ich setzte den Rubin-Ballaß hohen Graden von Hitze aus; seine rothe Farbe ging in Grün über und dieses allmählich bei der Abkühlung in Braun, bis der Rubin nach und nach seine anfängliche Farbe wieder erhielt. Eben so bemerkte Berzelius, daß der Rubin-Spinell erhitzt braun, bei Vermehrung der Hitze dunkel wurde, und daß er durch eine schöne olivengrüne Farbe ging, ehe er sein Roth wieder erhielt. Eine merkwürdige Veränderung der Absorptionskraft nimmt man an dem natürlichen gelben Auripigment wahr, welches die blauen und violetten Strahlen absorbirt, wenn man ein Plättchen davon sehr stark aber nicht bis zur Entflammung erhitzt. Es wird dann fast blutroth, weil es den größten Theil der gelben und grünen Strahlen absorbirt, erhält aber bei der Abkühlung seine anfängliche Absorptionskraft wieder. Eine noch auffallendere Wirkung zeigt der reine Phosphor, welcher gelblich ist und fast alle farbigen Strahlen frei durchläßt. Schmelzt man ihn und läßt ihn dann allmählich kalt werden, so erlangt er das Vermögen, alle Farben des Spectrums zu absorbiren, bei einer Dicke, bei welcher er sie vorher sämmtlich durchgelassen haben würde. Diese am Phosphor erzeugte Schwärze wurde zuerst von Thenard bemerkt. Faraday machte die Beobachtung, daß Glas, welches mit Mangan purpurroth gefärbt war, seine Absorptionskraft durch das bloße Durchlassen der Sonnenstrahlen änderte.

Durch die schon beschriebene Methode, gewisse Farben des Spectrums zu absorbiren, kam ich auf eine neue Zerlegungsart des Lichtes.

Die Versuche mit dem blauen Glase beweisen unwiderleglich, daß das Orange und Grün in dem Sonnenspectrum zusammengesetzte Farben sind, die, obgleich sie durch das Prisma nicht zerlegt werden können, durch die Absorption zerlegt werden, welche vorzugsweise das Roth des Orange und das Blau des Grün oder das Gelb des Orange und das Gelb des Grün zum Vorschein bringt; gerade die Untersuchung der übrigen Farben in verschiedenen absorbirenden Mediis führte mich auf die Schlüsse über das Spectrum, die sich in Cap. 7. finden.

Wir haben schon gesehen, daß im Sonnenspectrum nach Fraunhofer's Beschreibung dunkle Linien vorkommen, ganz so, als wenn Strahlen von einer besondern Brechbarkeit auf ihrem Wege von der Sonne zur Erde absorbirt worden wären. Es ist nicht wahrscheinlich, daß diese Absorption in unserer Luft stattfindet, denn dann würden diese

Linien den Farbenbildern der Fixsterne gefehlt, und die vom Monde und von den Planeten reflektirten Strählen des Sonnenlichtes würden wahrscheinlich durch ihre Atmosphären modificirt worden sein. Da dies indeß nicht der Fall ist, so werden wahrscheinlich die im Sonnenspectrum fehlenden Farben von der Atmosphäre der Sonne absorbirt, wie Herschel annimmt.

§. 89.

Die Erscheinung farbiger Flammen, welche mit dem Prisma untersucht Farbenbilder geben, denen einige Strahlen fehlen, und die den mit gefärbten Gläsern untersuchten Sonnenbildern gleichen, hängt mit dem Vorigen zusammen. Das reine Wasserstoffgas brennt mit einer blauen Flamme, in welcher mehrere leuchtende Strahlen fehlen.

Die Flamme einer Oellampe enthält mehrere Strahlen, die dem Sonnenlichte fehlen. Mit Wasser verdünnter Alcohol erhitzt und entzündet gibt eine Flamme, die nur den gelben Strahl hat. Fast alle Salze zeigen in der Flamme eine besondere Farbe; man sieht diese, wenn man die Salze pulvert und sie dann in die äußere Flamme einer Kerze oder in den Docht einer Weingeistlampe bringt. Herschel theilt folgende von verschiedenen Schriftstellern erhaltene Resultate mit:

Sodasalz . . . . . gleichartiges gelb,
Kalisalz . . . . . . blaß violett,
Kalksalz . . . . . . ziegelroth,
Strontiansalz . . . . lebhaft carmoisinroth,
Lithinsalz . . . . . . roth,
Barytsalz . . . . . . blaßapfelgrün,
Kupfersalz . . . . . . bläulich grün.

Nach Herschel glücken die Versuche mit den kochsalzsauren Salzen (hydrochlorsauren Salzes) wegen ihrer Flüchtigkeit besser.

Siebzehntes Capitel.

Doppelte Strahlenbrechung.

§. 90.

In dem vorigen Capitel nahmen wir, wo von der Brechung der Strahlen durch Flächen, Linsen und Prismen die Rede war, an, daß der transparente oder brechende Körper an jeder Stelle, wohin die Strahlen dringen konnten, gleiche Structur, gleiche Temperatur und

gleiche Dichtigkeit habe. Transparente Körper dieser Art sind die Gase, die Fluiden, die festen Körper, wie verschiedene Glassorten, die geschmolzen und dann langsam und gleichmäßig abgekühlt werden und eine große Zahl von crystallisirten Körpern, deren Grundform der Würfel, das reguläre Octaëder und das Rhomboidal-Dodekaëder ist. Hat einer dieser Körper dieselbe Temperatur und Dichtigkeit, und ist er keinem Drucke unterworfen, so wird ein auf eine einzige vollkommen ebene Fläche desselben einfallender Lichtbüschel nach dem in Cap. 3. angeführten Gesetze der Sinus in einen einzigen Lichtbüschel gebrochen.

Fast in allen übrigen Körpern mit Einschluß der crystallisirten Salze und Mineralien, die nicht die vorher erwähnten Grundformen haben, in dem Haare, dem Horne, den Knochen, den Linsen der Thiere, und den elastischen Häuten; in den vegetabilischen Körpern, wie in gewissen Blättern, Stengeln und Körnern; in den künstlichen Körpern, wie Harz, Gummi, Gallerten, schnell und ungleichmäßig abgekühlten Gläsern; in den festen Körpern, die wegen ungleicher Temperatur oder Druck eine ungleiche Dichtigkeit haben; — in allen diesen Körpern, sage ich, wird ein einziger einfallender Lichtbüschel in zwei verschiedene Büschel gebrochen, welche nach der Beschaffenheit und der Gestalt des Körpers und nach der Richtung des einfallenden Lichtbüschels mehr oder weniger gegen einander geneigt sind. Der Raum zwischen den beiden Büscheln ist zuweilen sehr groß und kann meistens beobachtet und gemessen werden; in andern Fällen sieht man ihn nicht und überzeugt sich von seinem Vorhandensein nur durch gewisse Wirkungen, die nicht anders hervorgebracht werden können, als durch zwei gebrochene Lichtbüschel. Diese Refraktion in zwei Büschel nennt man die doppelte Strahlenbrechung und die Körper, die damit begabt sind, doppelte brechende Körper oder Crystalle.

Da man die Phänomene der doppelten Brechung an einem transparenten Minerale entdeckt hat, welches Isländischer Doppelspath, Kalkspath oder kohlensaurer Kalk heißt und da dieser Körper zur Erzeugung dieses Phänomens sehr geeignet ist, so wollen wir das Gesetz der doppelten Strahlenbrechung an ihm entwickeln.

Der Doppelspath besteht aus 56 Theilen Kalk und 44 Theilen Kohlensäure; man findet ihn fast in allen Ländern in verschieden geformten Crystallen, mitunter auch in großen Massen; welche Form er aber auch haben mag, ob er als Crystall oder in Masse vorkommt, man

kann ihn immer so schneiden oder spalten, daß er die (Fig. 70) dargestellte Form erhält; diese heißt ein Doppelspath-Rhombus, und ist ein fester Körper eingeschlossen von sechs gleichen und ähnlichen Rhomboidalflächen, derer Seiten parallel sind, und deren Winkel BAC und ACD 101° 55′ und 78° 5′ betragen.

Die Neigung einer beliebigen Fläche ABCD gegen eine andere der Flächen, welche jene in A schneiden, beträgt 105° 5′ und gegen eine andere der anliegenden Flächen, die sich in X schneiden, 74° 55′. Die Linie AX heißt die Axe des Rhombus oder des Crystalls, und ist gegen jede der sechs Flächen gleich geneigt um einen Winkel von 45° 23′. Der Winkel der Axe AX mit einer der drei sich in A oder C schneidenden Kanten beträgt 66° 44′ 46″, und der Winkel zweier beliebiger der sechs Kanten oder Flächen beträgt 113° 15′ 14″ für die Kanten, und 66° 44′ 46″ für die Flächen.

§. 91.

Der Doppelspath ist sehr durchsichtig und in der Regel ohne Farbe. Seine natürlichen Bruchflächen, wenn man ihn zerschlägt, sind gewöhnlich gleich und vollkommen polirt; sollten sie dies aber nicht sein, so kann man die fehlerhafte Fläche entweder durch eine neue Spaltung mit einer andern Fläche vertauschen, oder die alte zurechtschneiden und poliren. Man nehme nur einen solchen der Figur ähnlichen Rhombus mit ebenen und gut polirten Flächen, so groß daß eine seiner Kanten AB zum wenigsten einen Zoll lang ist, und setze ihn auf ein Blatt Papier, auf welches man zuvor eine schwarze Linie MN wie (Fig. 71) gezeichnet hat. Bringt man dann das Auge in R, so sieht man durch die Oberfläche des Rhombus die Linie MN fast immer doppelt, und sollte dies nicht der Fall sein, so braucht man nur den Crystall ein wenig zu drehen.

Deutlich erscheinen zwei Linien MN und mn, wenn man den Crystall herum dreht und dieselbe Seite auf dem Papier läßt; während einer ganzen Umdrehung des Crystalls fallen die beiden Linien in zwei entgegengesetzten Punkten zusammen und scheinen dann nur eine einzige zu bilden; in zwei andern entgegengesetzten Punkten, die mit den beiden ersten fast rechte Winkel anschließen, haben die beiden Linien ihre größte Abweichung von einander. Macht man in O einen schwarzen Fleck, oder eine leuchtende Oeffnung, wie z. B. ein Loch mit der Nadel in eine Oblate, durch welches Licht fällt, so scheint

der Fleck des Loches doppelt zu sein, wie O und E, und wenn man den Crystall wie vorhin herumdreht, so sind die beiden Bilder in allen Lagen von einander getrennt, wobei das eine gleichsam um das andere O herumgeht.

Fällt ein Lichtstrahl oder Lichtbüschel Rr auf die Fläche des Rhombus in r, so bricht ihn diese in zwei Büschel rO und rE, von denen jeder an der untern Fläche in den Punkten O und E gebrochen wird, worauf sie sich in den Richtungen Oo und Ee parallel unter sich und zu dem einfallenden Strahle fortbewegen. Der Strahl Rr erleidet auf diese Weise von dem Rhombus eine doppelte Brechung.

Mißt man den Brechungswinkel des Strahles rO bei verschiedenen Graden des Einfallswinkels, so zeigt sich, daß er bei 0° Einfallswinkel oder bei senkrechtem Auffallen des Lichtstrahls nicht gebrochen wird, sondern durch den Crystall ohne Abweichung in einer einzigen geraden Linie fortgeht; bei allen übrigen Einfallswinkeln verhält sich der Sinus des Brechungswinkels zum Sinus des Einfallswinkels wie 1 zu 1,654, und der gebrochene Strahl liegt immer mit dem einfallenden in derselben Ebene. Hieraus erhellet, daß der Strahl rO nach dem früher aufgestellten gewöhnlichen Brechungsgesetze gebrochen wird. Untersucht man ebenfalls den Strahl rE, so ist der Brechungswinkel bei 0° Einfallswinkel oder bei senkrechtem Auffallen nicht 0, sondern 6° 12′; bei den übrigen Einfallswinkeln befolgt der gebrochene Strahl das constante Verhältniß der Sinus nicht; allein noch auffallender ist es, daß er seitwärts gekrümmt ist und ganz außer der Einfallsebene liegt. Der Strahl rE wird also nach irgend einem neuen ungewöhnlichen Gesetze gebrochen. rO heißt deshalb der gewöhnlich gebrochene, rE der ungewöhnlich gebrochene Strahl.

Läßt man einen Lichtstrahl rR in verschiedenen Richtungen auf die natürlichen oder künstlich geschnittenen und polirten Flächen des Rhombus fallen, so findet sich, im Doppelspath, eine einzige Richtung AX, welcher der gebrochene Strahl folgen muß, wenn er nicht in zwei Büschel gebrochen oder eine doppelte Brechung erleiden soll. In andern Crystallen gibt es zwei solche sich schneidende Richtungen. Im ersten Falle sagt man, der Crystall habe eine einzige Axe doppelter Brechung, im zweiten, er habe zwei solcher Axen. Diese Linien heißen

Axen der doppelten Brechung, weil die Phänomene der doppelten Brechung sich auf sie beziehen.

In einigen Körpern gibt es Ebenen, in denen der gebrochene Strahl fortgehen muß, um keine doppelte Brechung zu erleiden.

Eine solche Axe doppelter Brechung ist indeß nicht, wie z. B. die Erdaxe, als eine feste Linie im Rhombus oder Krystall anzusehen; sie ist vielmehr nur eine feste Richtung; denn wenn man den Rhombus ABC (Fig. 70) in zwei oder mehre Rhomben zerspaltet, was angehen kann, so hat jeder Rhombus seine Axe doppelter Brechung, und werden alle Rhomben an einandergesetzt, so sind diese Axen alle parallel mit AX. Auf diese Weise ist also in einem Rhombus jede mit AX parallele Linie eine Axe doppelter Brechung; da diese Linien aber sämmtlich im Raume dieselbe Richtung haben, so sagt man von dem Krystalle, er habe nur eine einzige Axe doppelter Brechung.

Stellt man Versuche mit verschiedenen Krystallen an, so findet sich in einigen der ungewöhnliche Strahl gegen die Axe zu, in andern von ihr ab gebrochen. Im ersten Falle heißt die Axe eine positive Axe doppelter Brechung, im letzteren eine negative Axe doppelter Brechung.

§. 92.

Krystalle mit einer Axe doppelter Brechung.

Bei der Untersuchung der Phänomene der doppelten Strahlenbrechung einer großen Anzahl krystallisirter Körper fand ich, daß die Krystalle, deren Grundform nur eine einzige geometrische Axe oder eine einzige vorherrschende Linie hat, um welche herum die Figur symmetrisch liegt, auch nur eine einzige Axe doppelter Brechung hat, und daß diese Axe mit der Axe der Figur zusammenfällt. Die Grundformen, welche diese Eigenschaft besitzen, sind folgende:

Rhombus mit stumpfem Scheitel.

Rhombus mit spitzem Scheitel.

Reguläres prismatisches Hexaeder.

Octaeder mit quadratförmiger Basis.

Senkrechtes Prisma mit quadratförmiger Basis.

§. 93.

Die nachstehende Tabelle enthält die Krystalle mit einer einzigen Axe doppelter Brechung; sie sind respektive nach ihrer Grundform ge-

ordnet; das Zeichen + deutet eine positive, das Zeichen — eine negative doppelte Brechung an.

1) Rhombus mit stumpfem Scheitel (Fig. 72).

— Kohlensaurer Kalk (Doppelspath).	— Rubin, silberfarbig
— Kohlensaures Kalkeisen (Braunspath).	— Lavyn
— Kohlens. Kalkmagnesia (Bitterspath).	— Turmalin
— Phosphorarseniksaures Blei	— Rubellit (rother Schörl)
— Kohlensaures Zink	— Alaunstein
— Salpetersaure Soda	— Dioptas
— Phosphorsaures Blei	— Quarz

2) Rhombus mit spitzem Scheitel (Fig. 73).

— Korund	— Zinnober
— Saphir	— Arseniksaures Kupfer
— Rubin	

3) Reguläres Prisma mit quadratförmiger Basis (Fig. 74).

— Smaragd	— Nephelin
— Beryll	— Arseniksaures Blei
— Apatit (phosphorsaurer Kalk)	+ Magnesiahydrat

4) Octaeder mit quadratförmiger Basis (Fig. 75).

+ Zirkon	— Molybdänsaures Blei
+ Zinnstein (Zinnoxyd)	— Octaedrit
+ Wolframsaurer Kalk	— Blausaure Pottasche
— Mellit (Honigstein)	— Cyanquecksilber

5) Gerades Prisma mit quadratförmiger Basis (Fig. 76).

— Idocras (Vesuvian)	— Strontianhydrat
— Wernerit	— Menionit
— Paranthin (Scapolith)	— Somervilit
— Schwefelsaures Nickelkupfer	— Edingtuit
— Phosphorsaures Kali	— Arseniksaure Pottasche
— Phosphorsaure Ammoniakmagnesia	+ Unteressigsaures Kalkkupfer
+ Apophyllit	+ Titanit
+ Oxanverit	+ Eis, gewisse Krystalle.

In allen vorstehenden Krystallen, sowie in den zugehörigen Grundformen, ist die Linie AX die Krystallisationsaxe und die Axe der doppelten Brechung oder die Richtung, in welcher keine doppelte Brechung stattfindet.

§. 94.

Gesetz der doppelten Brechung in den Krystallen mit einer einzigen negativen Axe.

Um eine verständliche Erklärung von dem Gesetze der doppelten Strahlenbrechung geben zu können, wollen wir annehmen, es sei ein

Doppelspath zu einer Kugel (Fig. 77) zugeschnitten, wo AX die Axe des Rhombus und der Kugel ist.

Läßt man einen Lichtstrahl längs der Axe AX durchgehen, nachdem man zuvor zwischen A und X eine auf AX senkrechte ebene Fläche eingeschnitten hat, so findet keine doppelte Brechung statt, indem die gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahlen zusammenfallen. Es ist folglich

der Brechungsexponent längs der Axe AX	1,654 für den gewöhnlichen Strahl
	1,654 für den ungewöhnlichen Strahl
	Unterschied 0,000

Verfährt man eben so im Punkte a unter einem Einfallswinkel von etwa 45° von der Axe, so ist

der Brechungsexponent längs der Linie RabO, welche fast senkrecht auf der Fläche des Rhombus steht,	1,654 für den gewöhnlichen Strahl
	1,572 für den ungewöhnlichen Strahl
	Unterschied 0,082

Macht man dasselbe in irgend einem Punkte des Aequators CD, welcher um 90° gegen die Axe geneigt ist, so erhält man

als Brechungsexponent senkrecht auf die Axe	1,654 für den gewöhnlichen Strahl
	1,483 für den ungewöhnlichen Strahl
	Unterschied 0,171.

Hieraus folgt, daß der ungewöhnliche Brechungsexponent von der Axe AX nach dem Aequator oder nach einer der Axe parallelen Linie, wo er am größten ist, wächst; er ist für alle gleiche Winkel mit der Axe derselben, folglich hat jeder Punkt eines auf der Kugel aus dem Pole A oder X als Mittelpunkt beschriebenen Kreises dieselbe brechende Kraft; die Trennung der Strahlen oder die doppelte Brechung ist also hier dieselbe. In Krystallen also, die nur eine Axe doppelter Brechung haben, sind die Linien von gleicher doppelter Brechung. Kreise parallel zum Aequator oder zum Kreise der doppelten Brechung.

Huygens, dem man die Entdeckung des Gesetzes der doppelten Brechung in den Krystallen mit einer einzigen Axe verdankt, gibt folgende Methode zur Bestimmung des ungewöhnlichen Brechungsexponenten in irgend einem Punkte der Kugel an, wenn der leuchtende Strahl auf die Ebene fällt, welche durch die Krystallisationsaxe AX geht.

Es soll z. B. der Brechungsexponent des ungewöhnlichen Licht-

strahls Rab (Fig. 77) bestimmt werden, wo AX die Krystallisationsaxe und CD der Aequator des Krystalls ist. Das gewöhnliche Brechungsverhältniß, sowie das kleinste oder im Aequator stattfindende ungewöhnliche Brechungsverhältniß sind gegeben. Im Kalkspath sind diese Zahlen 1,654 und 1,483.

Von O aus schneide man auf den verlängerten Linien OC und OD zwei gleiche Stücke Oc und Od dergestalt ab, daß sich OC oder OD zu Oc oder Od wie $\frac{1}{1654}$ zu $\frac{1}{1483}$ oder wie 0,604 zu 0,674 verhalte. Durch die Punkte A, c, X, d lege man eine Ellipse, deren größte Axe cd, deren kleine AX ist. Dann ist die Länge Oa das Umgekehrte des Brechungsexponenten im Punkte a, und da sich Oa entweder durch Rechnung oder durch Zeichnung der Figur nach einem größern Maßstabe finden läßt, so braucht man nur 1 durch Oa zu dividiren, um den Brechungsexponent zu finden. In dem vorliegenden Falle ist Oa = 0,636, also $\frac{1}{0,636} = 1,572$ der gewünschte Brechungsexponent. Da der solchergestalt gefundene Brechungsexponent vom Pole A an nach dem Aequator CD zu immer kleiner wird, und immer dem gewöhnlichen Brechungsexponenten weniger einer andern Größe gleich ist, die von der Differenz des Kreis- und Ellipsenhalbmessers abhängt, so darf man behaupten, die mit dieser Eigenschaft begabten Krystalle besäßen eine negative doppelte Brechung.

Die Bestimmung der Richtung des ungewöhnlich gebrochenen Strahls für den Fall, wo die Einfallsebene gegen die durch die Krystallisationsaxe gelegte Ebene geneigt ist, erfordert ein Verfahren, was sowohl in Bezug auf Rechnung als Zeichnung zu weitläufig ist, als daß es in einem elementaren Handbuche der Optik mitgetheilt werden könnte.

In jedem Fall wirkt die Kraft, welche das Gesetz der Refraction hervorbringt so, als hätte sie ihren Sitz in der Axe.

Jede Ebene, welche durch die Krystallisationsaxe geht, heißt eine Hauptebene des Krystalls.

§. 95.

Gesetz der doppelten Brechung in Krystallen mit einer einzigen negativen Axe.

Zu den Krystallen, welche am besten geeignet sind, die Phänomene der positiven doppelten Strahlenbrechung zu zeigen, gehört der Bergkrystall oder der Quarzkrystall, der gewöhnlich die Form eines

Prisma mit sechs Seitenflächen (Fig. 78) hat, welche durch sechsseitige Pyramiden E und F geschlossen werden. Nimmt man ihm die Spitzen A und X, ersetzt diese mit gut polirten auf die Axe AX senkrechten Flächen, und läßt dann einen Lichtstrahl längs der Axe AX hindurchgehen, so findet keine Strahlenbrechung statt, und es ist

der Brechungsexponent längs der Axe AX { 1,5484 für die gewöhnlichen Strahlen; 1,5484 für die ungewöhnlichen Strahlen

Unterschied 0,0000

Läßt man den Strahl senkrecht durch die parallelen Flächen E und F, welche gegen die Axe um 38° 20′ geneigt sind, wobei seine Einfallsebene durch die Axe AX geht, so ist

der Brechungsexponent senkrecht auf die Flächen der Pyramide { 1,5484 für die gewöhnlichen Strahlen; 1,5544 für die ungewöhnlichen Strahlen

Unterschied 0,0060

Geht der Strahl senkrecht durch die Seitenflächen C und D, die senkrecht auf der Axe AX stehen, so ist der Brechungsexponent am größten, und zwar ist

der Brechungsexponent senkrecht auf die Seitenflächen des Prisma CD { 1,5484 für die gewöhnlichen Strahlen; 1,5582 für die ungewöhnlichen Strahlen

Unterschied 0,0098

Hieraus ergibt sich, daß im Quarz das ungewöhnliche Brechungsverhältniß vom Pole A nach dem Aequator CD zu sich vergrößert, während es sich im Kalkspath verkleinerte, und der ungewöhnliche Strahl scheint nach der Axe zu gezogen zu sein.

In diesem Falle stellt sich die Aenderung des ungewöhnlichen Brechungsexponenten in einer Ellipse AcXd (Fig. 79) dar, deren große Axe mit der Axe AX der doppelten Brechung zusammenfällt, und OC verhält sich zu Oc wie $\frac{1}{1,5484}$ zu $\frac{1}{1,5582}$ oder wie 0,6458 zu 0,6418. Bestimmt man daher den Ellipsenradius Oa für irgend einen Strahl Rba, und dividirt 1 durch Oa, so erhält man den ungewöhnlichen Brechungsexponent für diesen Strahl.

Der ungewöhnliche Brechungsexponent ist hier immer dem gewöhnlichen Brechungsexponenten gleich plus einer gewissen Größe, die vom Unterschiede unter den Halbmessern des Kreises und der Ellipse

abhängt; daher sagt man, daß die Krystalle, denen diese Eigenschaft zukommt, eine positive doppelte Brechung besitzen.

§. 96.

Krystalle mit zwei Axen doppelter Brechung.

Die größte Zahl der Krystalle, mögen sie Mineralien oder chemische Substanzen sein, hat zwei Axen doppelter oder zwei gegen einander geneigte Richtungen, längs deren es keine doppelte Brechung gibt. Ich entdeckte diese Eigenschaft im Jahre 1815, und fand, daß sie allen Krystallen zukommt, die ins prismatische System nach Mohs gehören, oder deren Grundformen folgende sind:

Gerades Prisma; Basis Rectangel
— — — Rhombus
— — — schiefes Parallelogramm
Schiefes Prisma; Basis Rectangel
— — — Rhombus
— — — schiefes Parallelogramm
Octaëder; Basis Rectangel
— — — Rhombus

In allen diesen Grundformen gibt es nicht eine einzige Axe oder vorherrschende Linie, um welche sich die Figur symmetrisch lagert.

Folgende sind einige der vorzüglichsten Krystalle mit ihren Grundformen nach Hauy, mit den Neigungen der beiden Linien oder Axen, in deren Richtungen keine doppelte Strahlenbrechung stattfindet:

Krystalle	Neigung der beiden Axen.	Grundform.
Glauberit	2° bis 3°	Schiefes Prisma, Basis Rhombus
Salpetersaure Pottasche	5° = 20′	Octaeder, Basis Rectangel
Arragonit	18° = 18′	Octaeder, Basis Rectangel
Schwefelsaurer Baryt	37° = 42′	Gerades Prisma, Basis Rectangel
Glimmer	45° = 0°	Gerades Prisma, Basis Rectangel
Schwefelsaurer Kalk	60° = 0°	Gerades Prisma, Basis schiefes Parallelogramm
Topas	65° = 0°	Octaeder, Basis Rectangel
Kohlensaure Pottasche	80° = 30°	Prismatisches System nach Mohs
Schwefelsaures Eisen	90° = 0°	Schiefes Prisma, Basis Rhombus.

In den Krystallen mit einer einzigen Axe doppelter Brechung hat die Axe immer dieselbe Lage, welche Farbe auch der Lichtbüschel haben mag; in den Krystallen mit zwei Axen dagegen ändern die Axen ihre Lage nach der Farbe des Lichts, so daß also die Neigung der beiden Axen mit den farbigen Strahlen verschieden ist. Man ver-

dankt diese Entdeckung Herschel, welcher fand, daß in dem weinsteinsauren Kali und Natrium die Neigung der Axen für Violett nahe 56′ und für Roth 76° war. In andern Krystallen, z. B. im Salpeter, ist die Neigung der Axen für die violetten Strahlen größer als für die rothen; jedenfalls aber ist die Verbindungslinie zwischen den Endpunkten der Axen in allen farbigen Strahlen eine gerade Linie.

Am Glauberit fand ich die Eigenthümlichkeit, daß er für das rothe Licht zwei um etwa 5° geneigte Axer, für das violette Licht nur eine einzige Axe hat.

Man nahm anfangs an, daß in der Krystallen mit zwei Axen einer der Strahlen nach dem gewöhnlichen Gesetze der Sinus, und der andere nach einem ungewöhnlichen Gesetze gebrochen würde. Fresnel zeigte jedoch, daß beide Strahlen nach ungewöhnlichen Brechungsgesetzen gebrochen werden.

§. 97.

Krystalle mit unzähligen Axen doppelter Brechung.

In den verschiedenen schon erwähnen doppelt brechenden Körpern bezieht sich die doppelte Brechung auf eine oder mehrere Axen; ich fand jedoch, daß es im Analzim (Würfelzeolith) mehrere Ebenen gibt, die so beschaffen sind, daß ein längs ihnen gehender Strahl keine doppelte Brechung erleidet, in welcher Richtung er sonst auch auffallen mag. Jede dieser Ebenen enthält auf diese Weise gleichsam eine unzählige Menge Axen doppelter Brechung, oder vielmehr Linien, längs denen es keine doppelte Brechung gibt. Fällt der Strahl in einer andern Richtung auf, so daß der gebrochene Strahl sich nicht in einer dieser Ebenen befindet, so wird er durch die doppelte Brechung in zwei Strahlen zerspalten. Außer dieser Substanz kennt man keine, welche diese Eigenschaft besitzt.

§. 98.

Körper, denen man die doppelte Brechung durch Wärme, plötzliche Abkältung, Druck und Erhärung mittheilen kann.

Erhitzt man einen Glascylinder CD (Fig. 80) bis zum Rothglühen und rollt ihn dann längs einer Metallplatte auf seiner cylindrischen Fläche so lange bis er kalt geworden ist, so erhält er eine bleibende doppelt brechende Struktur, und eine positive Axe doppelter Brechung AX, die mit seiner geometrischen Axe zusammenfällt, und längs welcher es keine doppelte Brechung gibt. Diese Axe unterschei-

det sich von der des Quarzes dadurch, daß sie eine feste Linie ist, während sie beim Quarze nur eine feste Richtung war, d. h. daß jede mit AX parallele Linie keine Axe doppelter Brechung ist, sondern daß die doppelte Brechung längs dieser Linie größer wird, so wie sie sich dem Umfange des Cylinders nähert. Die doppelte Brechung hat ihr Maximum in der Rihtung CD, und ist in jeder Linie gleich, welche die Axe parallel durhschneidet.

Bringt man den Cylinder, statt ihn zu glühen, in kochendes Oel oder Wasser, so erhält man dieselbe doppelt brechende Structur, wenn die Hitze die Axe AX erreicht; allein diese Structur ist nur vorübergehend und verschwindet, sobald der Cylinder gleichmäßig erhitzt ist.

Hat man den Cylinder im Feuer oder in kochendem Oele gleichmäßig erhitzt, so daß das Glas nicht weich wird, und ihn dann in eine kalte Flüssigkeit getaucht, so erlangt er eine doppelt brechende Structur, wenn die Kälte die Axe AX erreicht, die gleichfalls vorübergehend wie vorher ist; allein seine Axe doppelter Brechung AX wird negativ sein, wie beim Kalkspath.

Aehnliche Structuren erhält man durch Druck und Erhärtung weicher Körper, z. B. thierische Gallerte, Hausenblase u. s. w.

Hat der Cylinder nicht wie vorhin eine regelmäßige Gestalt, sondern ist der auf die Axe senkrechte Durchschnitt statt eines Kreises eine Ellipse, so hat er zwei Axen doppelter Brechung.

Bedient man sich auf gleche Weise bei dem vorigen Versuche statt des Cylinders rechteckiger Gasplatten, so erhält man Platten mit zwei Ebenen doppelter Brechung, wobei eine positive Structur auf jeder Seite jeder Ebene, und eine negative auf der andern Seite liegt.

Nimmt man vollkommene Kugeln, so gibt es Axen doppelter Brechung längs eines jeden Durchmessers, und folglich unzählig viele solche Axen.

Die Crystalllinsen fast sämmtlcher Thiere, mögen sie wirkliche Linsen oder Kugeln oder Sphäroide sein, haben eine oder mehrere Axen doppelter Brechung.

Ueber alle diese Phänomene wird ein Weiteres gesagt werden, wenn wir von den Farben sprechen, die durch die doppelte Brechung erzeugt werden.

§. 99.

Substanzen mit kreisförmiger doppelter Brechung.

Wenn man einen Lichtbüschel längs der Axe eines Quarzkrystalles AX (Fig. 73) durchgehen läßt, so erleidet dieser keine doppelte Brechung, sondern man sieht längs der Axe gewisse Phänomene (wir werden sie in der Folge mittheilen), die Fresnel bewogen, das längs dieser Axe durchgehende Licht genauer zu untersuchen. Er fand, daß diese Axe eine neue Art doppelter Brechung besaß, und er beobachtete die Brechung beider Strahlenbüschel sehr deutlich. Wegen ihrer Eigenschaften hat sie den Namen der kreisförmigen erhalten, und sie theilt sich in zwei Sorten, eine positive und eine negative.

Positive Substanzen.

Bergkrystall (einige Exemplare)	Kampferauflösung in Alcohol
Kampfer	Lorôl
Terpentinöl	Terpentindämpfe.

Negative Substanzen.

Bergkrystall (einige Stücke)	Syrup concentrirten Zuckers
	Echtes Citronenöl.

Bei Untersuchung dieser Art von Phänomenen fand ich, daß der Amethist die positive und negative kreisförmige doppelte Strahlenbrechung in demselben Krystalle besaß. Wir werden mehr von diesem Gegenstande sagen, wenn wir auf die kreisförmige Polarisirung kommen.

Achtzehntes Capitel.

Polarisirung des Lichtes.

Läßt man einen Sonnenstrahl durch eine kreisförmige Oeffnung in ein dunkles Zimmer treten, und ihn dann von einem krystallisirten oder nicht krystallisirten Körper reflectiren, oder durch ein dünnes Plättchen von einem dieser Körper durchgehen, so wird er auf dieselbe Weise und mit derselben Intensität reflectirt und durchgelassen, mag die Fläche des Körpers sich über oder unter, zur Rechten oder zur Linken des Strahls befinden, wenn er nur jedesmal auf gleiche Weise auf die Fläche fällt; oder was dasselbe ist, der Sonnenstrahl hat dieselben Eigenschaften von allen Seiten; und dies gilt, mag der Strahl direkt von der Sonne kommen und weiß sein, oder mag er die rothe oder jede andere Farbe haben. Das Licht einer Kerze und jedes andern leuchtenden Körpers besitzt dieselben Eigenschaften, und heißt gemeines Licht. Der Durchschnitt einer solchen Lichtmasse ist ein Kreis

ABCD (Fig. 81) und wir wollen den Durchschnitt einer Lichtmasse durch einen Kreis mit zwei auf einander senkrechten Durchmessern AB und CD darstellen. Läßt man dieselbe Lichtmasse auf einen Rhombus von Doppelspath (wie Fig. 71) fallen, und untersucht dann die beiden kreisförmigen Massen Oo, Ee, die durch die doppelte Brechung gebildet werden, so findet sich:

1) daß die verschiedenen Seiten der Masse Oo und Ee verschiedene Eigenschaften besitzen, dergestalt, daß in dieser Beziehung jede von dem gemeinen Lichte verschieden ist,

2) daß die Masse Oo sich von Ee in weiter nichts unterscheidet, als dadurch, daß die erste in den Punkten A′ und B′ (Fig. 76) dieselben Eigenschaften besitzt, welche die zweite in C′ und D′ hat; oder im Allgemeinen, daß die Durchmesser der Lichtmassen, an deren Enden diese ähnliche Eigenschaften hat, sich rechtwinklich durchkreuzen, wie z. B. A′B′ und C′D′. Deßhalb nennt man die beiden Lichtmassen Oo und Ee (Fig. 81) polarisirt oder Massen polarisirten Lichtes, weil sie Seiten oder Pole von verschiedenen Eigenschaften besitzen. Die Ebenen, welche durch die Linien AB, CD und A′B′, C′D′ gehen, heißen die Polarisationsebenen jeder Lichtmasse, weil sie dieselben Eigenschaften besitzen und diese allein von allen Ebenen der ganzen Masse haben. Merkwürdig ist dabei, daß man, wenn man die beiden polarisirten Büschel Oo und Ee in einen einzigen vereinigt, oder sie durch ein Plättchen Doppelspath bildet, der sie nicht trennen kann, einen Lichtbüschel von vollkommen denselben Eigenschaften mit dem Büschel ABCD des gemeinen Lichtes erhält.

Hieraus folgt, daß der Lichtbüschel ABCD aus zwei Büscheln polarisirten Lichtes besteht, deren Polarisationsebenen oder deren Durchmesser von gleichen Eigenschaften sich unter rechtem Winkel schneiden. Stellt man Oo über Ee, so erhält man eine Figur wie ABCD; wir wollen das polarisirte Licht durch eine ähnliche Figur darstellen. Bringt man Oo dergestalt über Ee, daß die Polarisationsebenen A′B′ und C′D′ zusammenfallen, so bekommt man einen Büschel polarisirten Lichtes doppelt so stark leuchtend als Oo oder Ee, und völlig von denselben Eigenschaften, denn die Linien gleicher Eigenschaft des einen Büschels fallen genau mit denen des andern zusammen.

Man hat hiernach drei Arten, einen Büschel gemeinen Lichtes in einen oder mehre Büschel polarisirten Lichtes zu verwandeln:

1) Man kann den gemeinen Lichtbüschel ABCD in seine zwei Theile Oo und Ee zerlegen.

2) Man kann die Polarisationsebenen AB und CD drehen, bis sie zusammenfallen oder parallel werden.

3) Man kann einen der Büschel absorbiren oder vernichten, und den andern behalten, der dann polarisirt ist.

Bei der ersten Methode, polarisirtes Licht zu erzeugen, die uns jetzt beschäftigen soll, bedient man sich der doppelt brechenden Krystalle.

§. 100.

Polarisirung des Lichtes durch die doppelte Brechung.

Erleidet ein Lichtstrahl die doppelte Brechung von einem negativen Krystalle, wie von dem Doppelspathe (Fig. 71), wo der Lichtstrahl Rr auf die Ebene des Hauptdurchschnitts, oder was dasselbe ist, auf eine durch die Axe gehende Ebene fällt, so ist jeder der beiden Büschel rO und rE polarisirt, wobei die Polarisationsebene des gewöhnlichen Lichtstrahls rO in dem Hauptdurchschnitte oder in einer Vertikallinie, und die Polarisationsebene des ungewöhnlichen Lichtstrahls rE unter rechtem Winkel gegen den Hauptdurchschnitt oder in einer Horizontallinie liegt, wie (Fig. 82), wo O ein Durchschnitt des gewöhnlichen Strahls rO (Fig. 71), und E ein Durchschnitt des ungewöhnlichen Strahls rE ist.

Fällt der Lichtstrahl Rr auf einen positiven Krystall, z. B. Quarz, so ist die Polarisationsebene des gewöhnlichen Lichtstrahles O (Fig. 83) horizontal, und die des ungewöhnlichen vertikal.

Sehr schön nimmt man die Erscheinung, die von dieser entgegengesetzten Polarisirung der beiden Lichtbüschel herrührt, am Doppelspathe wahr. Es sei ArX (Fig. 85) der Hauptschnitt eines Doppelspathrhombus durch die Axe AX und senkrecht auf eine der Flächen, und A′FX′ ein ähnlicher Schnitt, in welchem sämmtliche Linien denen des erstern parallel sind. Ein Lichtstrahl Rr fällt senkrecht in r auf, und wird in zwei Büschel getheilt, einen gewöhnlichen rD und einen ungewöhnlichen rC. Der gewöhnliche Lichtstrahl erleidet bei seinem Auffallen auf den zweiten Krystall in G nochmals eine ungewöhnliche Brechung und tritt im Punkte k wie ein gewöhnlicher Strahl Oo aus ihm heraus, dessen Polarisationsebene vertikal ist wie O, (Fig. 82). Auf dieselbe Weise erleidet der ungewöhnliche Strahl rC bei seinem Auffallen auf den zweiten Krystall in F eine ungewöhnliche

Brechung und tritt aus ihm im Punkte H wie ein ungewöhnlicher Strahl Ee heraus, dessen Polarisationsebene horizontal ist. Die Resultate sind vollkommen dieselben, als machten die beiden Krystalle einen einzigen aus, wo dann ihre Flächen CX und A'G durch ein Cement oder durch die natürliche Cohäsion verbunden sein müßten.

Man lasse nun den obern Krystall AX mit dem auf ihn fallenden Lichtstrahle Rr an ihren Stellen, und drehe den zweiten Krystall A'X' um 90°, so daß der Hauptdurchschnitt auf dem des obern Krystalls senkrecht steht, wie in (Fig. 85); dann wird der von dem ersten Rhombus gewöhnlich gebrochene Strahl DG von dem zweiten ungewöhnlich gebrochen, und der von dem ersten Rhombus ungewöhnlich gebrochene Strahl CF von dem zweiten gewöhnlich gebrochen.

Die Büschel oder Bilder des Strahls Rs können auf diese Weise eine Lage haben, wie sie in den (Fig. 84 und 85) gezeichnet sind.

O ist der vom ersten Rhombus gewöhnlich gebrochene Lichtbüschel.

E ist der vom ersten Rhombus ungewöhnlich gebrochene Lichtbüschel.

o ist der vom zweiten Rhombus gewöhnlich gebrochene Lichtbüschel.

e ist der vom zweiten Rhombus ungewöhnlich gebrochene Lichtbüschel.

Oo ist der von beiden Rhomben gewöhnlich gebrochene Lichtbüschel (Fig. 84).

Ee ist der von beiden Rhomben ungewöhnlich gebrochene Lichtbüschel (Fig. 85).

Oe ist der vom ersten Rhombus gewöhnlich und vom zweiten ungewöhnlich gebrochene Lichtbüschel (Fig. 85).

Eo ist der vom ersten Rhombus ungewöhnlich und vom zweiten gewöhnlich gebrochene Lichtbüschel (Fig. 85).

In den beiden (Fig. 84 und 85) erläuterten Fällen, wo die Hauptschnitte der beiden Rhomben entweder parallel (Fig. 84) oder senkrecht (Fig. 85) sind, kann der nächste Rhombus keinen der auffallenden Lichtbüschel doppelt brechen oder in zwei Büschel zertheilen; in jeder andern Lage aber zwischen der parallelen und der senkrechten der beiden Hauptdurchschnitte werden die beiden von den beiden ersten Rhomben gebildeten Büschel von dem zweiten doppelt gebrochen. Zur Erläuterung ihres Aussehens in allen Zwischenlagen wollen wir an-

nehmen, der Lichtstrahl Rr komme von einer runden Oeffnung, z. B. von einem der Kreise A (Fig. 86) her, und man habe das Auge hinter den beiden Rhomben in Hk (Fig. 85) so, daß man die Bilder dieser Oeffnung sehen könne. Wir nehmen an, die beiden in A gezeichneten Bilder seien die der Oeffnung R, welche das hinter CD (Fig. 84) befindliche Auge durch eines der beiden Rhomben sieht, so stellt B die Bilder dar, die man durch beide Rhomben in derselben Lage wie (Fig. 84) erblickt, und ihr Abstand hat sich verdoppelt, weil sie zwei Mal dieselbe doppelte Brechung erlitten haben. Dreht man den zweiten dem Auge am nächsten liegenden Rhombus von der Linken zur Rechten, so erblickt man, wie in C, zwei schwarze Bilder zwischen den beiden etwas schwächer gewordenen hellen. Bei fortgesetzter Drehung werden die Bilder gleich leuchtend, wie in 4; hierauf erscheinen sie wie in E, und wenn der zweite Rhombus eine Drehung von 90° erlitten hat, wie in (Fig. 85), so bekommt man zwei gleich helle Lichter, wie in F. Bei fortgesetzter Drehung des zweiten Rhombus bekommt man zwei schwache Bilder wie in G; dann zwei gleich helle Bilder wie in H; hierauf zwei ungleiche wie in I; und bei 180° Umdrehung, wo die beiden Hauptschnitte abermals parallel und die Axen AX und A'X fast senkrecht sind, vereinigen sich fast alle Bilder in ein einziges helles, wie in K, welches den doppelten Glanz von jedem der in A, B oder F, und den vierfachen von jedem der in D oder H gesehenen Bilder hat. Verfolgt man ein beliebiges der Bilder A, B, aus der Lage (Fig. 84), wo die Hauptschnitte eine gegenseitige Neigung von 0° haben, bis in die Lage (Fig. 85), wo es in F verschwindet, so sieht man, daß seine Helligkeit in demselben Verhältnisse abnimmt, wie das Quadrat des Cosinus des von beiden Hauptschnitten gebildeten Winkels, während die Helligkeit eines beliebigen Bildes bei seinem Erscheinen zwischen B und C (Fig. 86) mit seinem größten Glanze in F wächst, wie das Quadrat des Sinus desselben Winkels.

Aus einer genauern Betrachtung der vorigen Phänomene ergibt sich, daß wenn die Polarisationsebene eines polarisirten gewöhnlichen oder ungewöhnlichen Strahls mit der Hauptschnittfläche zusammenfällt oder ihr parallel ist, der Strahl g e w ö h n l i c h, und wennn die Polarisationsebene auf der Hauptschnittfläche senkrecht steht, der Strahl u n g e w ö h n l i c h gebrochen wird. In allen Zwischenlagen erleidet er die beiden Arten von Brechung und wird doppelt gebrochen; dabei ist der

gewöhnliche Strahl der hellere, wenn die Polarisationsebene näher an der parallelen als an der senkrechten Lage, und der ungewöhnliche Strahl der hellere, wenn die Polarisationsebene näher an der senkrechten als an der parallelen Lage liegt. In der Mitte zwischen beiden Lagen hat das gewöhnliche Bild mit dem ungewöhnlichen gleiche Helligkeit.

§. 101.

Aus dem vorstehenden Versuche scheint hervorzugehen, daß die Polarisation der beiden Büschel nicht von einer dem Doppelspathe inwohnenden Polarisationskraft oder von einer im Lichte hervorgebrachten Aenderung herrühre. Der Doppelspath zerlegt nur das gemeine Licht in seine beide Elemente nach einem verschiedenen Gesetze, auf dieselbe Weise, wie das Prisma, vermöge seiner Eigenschaft die Grundfarben verschieden zu brechen, das weiße Licht in die sieben Farben des Spectrums zertheilt. Die Verbindung der beiden auf entgegengesetzte Weise polarisirten Lichtbüschel gibt gewöhnliches Licht, gerade wie die Verbindung der sieben Farben des Spectrums weißes Licht erzeugt.

Die Methode der Polarisirung des Lichtes durch die doppelte Strahlenbrechung ist allen übrigen Methoden vorzuziehen, weil man durch dieselbe aus einem gegebenen Lichtbüschel den größten polarisirten Strahl erhält. Mit einem drei Zoll dicken Doppelspath kann man zwei Massen polarisirten Lichtes von $\frac{1}{3}$ Zoll Durchmesser erhalten und jede dieser Massen hat die Hälfte von dem Lichte des anfänglichen Strahls, mit Ausnahme des wenigen Lichtes, was durch die Reflexion und Absorption verloren geht. Bringt man auf den Doppelspath, einem seiner Lichtbüschel gegenüber, eine schwarze Oblate, so kann man einen polarisirten Strahl bilden, dessen Polarisationsebene in der Hauptschnittfläche liegt oder diese unter rechtem Winkel schneidet. Bei allen derartigen Versuchen vergesse man nicht, daß die sämmtliche durch gewöhnliche oder ungewöhnliche, oder durch positive und negative Krystalle hervorgebrachte polarisirte Lichtmasse immer dieselben Eigenschaften hat, so lange die Polarisationsebene dieselbe Richtung behält.

Neunzehntes Capitel.

Polarisirung des Lichtes durch die Reflexion.

§. 102.

Im Jahre 1810 machte Malus, als er das von den Fenstern

des Luxemburg reflectirte Licht der untergehenden Sonne durch ein Kalkspathprisma betrachtete, die merkwürdige Entdeckung, daß eine vom Glase unter einem Winkel von 56° oder vom Wasser unter einem Winkel von 52° 45′ reflectirte Lichtmasse dieselbe Eigenschaft besitzt, als einer der vom Doppelspathrhombus gebildeten Lichtbüschel, daß er also vollständig polarisirt wird, wenn seine Polarisationsebene mit der Reflexionsebene zusammenfällt oder parallel ist.

Diese merkwürdige und richtige Entdeckung, die er bewährt fand, wenn das Licht von allen übrigen transparenten und undurchsichtigen Körpern mit Ausnahme der Metalle reflectirt wurde, ward der Grund zu allen den Entdeckungen, die seitdem diesen Theil der Optik zu einem der interessantesten und vollkommensten Theile der Physik gemacht haben. Zur Erörterung dieser sowie der übrigen Entdeckungen von Malus sei CD (Fig. 87) eine Röhre von Bronze oder Holz, an einem Ende mit einer Glasplatte A versehen, die nicht belegt ist und sich dergestalt um eine Axe drehen läßt, daß sie mit der Axe der Röhre verschiedene Winkel bilden kann; DG sei eine ähnliche etwas kleinere Röhre, gleichfalls mit einem ähnlichen Glase in B versehen; steckt man dann die Röhre DG in die Röhre CD, so kann man durch Drehung der einen oder andern die beiden Glasplatten in jede beliebige Lage zu einander bringen.

Es falle nun der Lichtstrahl Rr einer Kerze oder einer im Fensterladen gemachten Oeffnung auf die Platte A unter einem Winkel von 56° 45′; man stelle das Glas so, daß der reflectirte Strahl rs seinen Weg durch die Axe der beiden Röhren nimmt, und im Punkte s auf die Platte B gelangt; trifft dann der Strahl rs die Platte B unter einem Einfallswinkel von 56° 45′, und steht die Reflexionsebene dieser Platte oder die durch sE und sr gehende Ebene senkrecht auf der Reflexionsebene der ersten Platte oder auf der durch Rr und rs gehenden Ebene, so wird der Strahl rs von B nicht reflectirt oder doch nur in so geringem Grade, daß man es kaum wahrnehmen kann. Dasselbe ereignet sich, wenn rs durch doppelte Brechung polarisirt ist und seine Polarisationsebene in der durch rRrs gehenden Ebene liegt. Dadurch gelangen wir zu einer neuen Eigenschaft oder zu einem neuen Zeichen des polarisirten Lichtes; es wird nämlich von einer Glasplatte nicht reflectirt, wenn es unter einem Winkel von 56° auffällt und wenn die Einfalls- oder Reflexionsebene auf der Polari-

sationsebene des Strahls senkrecht steht. Dreht man die Röhre **BG** mit der Glasplatte **B**, ohne den Tubus **CD** zu bewegen, so wird der reflectirte Strahl **sE** immer heller, bis die Röhre eine Drehung von 90° bekommen hat, und dann fällt die Reflectionsebene **B** mit der Ebene **A** zusammen, oder ist ihr parallel. In dieser Lage hat der Strahl **sE** seine größte Helligkeit. Bei fortgesetzter Drehung der Röhre **DG** wird der Strahl **sE** allmählich schwächer, und erlangt den höchsten Grad von Schwäche, wo er kaum zu sehen ist, wenn die abermalige Drehung 90° beträgt, wo denn die Reflexionsebene von **B** senkrecht auf der von **A** steht. Nach einer neuen Drehung von 90° nimmt der Strahl wieder seine größte Helligkeit an, und nach abermals 90°, wenn die Röhre **DG** mit der Platte **B** in ihre anfängliche Lage zurückgekommen ist, verschwindet der Strahl **E** von Neuem. Man kann diese Wirkungen tabellarisch zusammenstellen wie folgt:

Neigung der beiden Reflexionsebenen oder der Ebenen **rRs** und **rsE**, oder Azimuth der Ebenen **rsE**.	Helligkeit des von der zweiten Platte **B** reflectirten Bildes oder Strahls **sE**.
90°	kaum sichtbar
zwischen 90° und 180°	das Bild wird allmählich heller
180°	sehr hell
zwischen 180° und 270°	es wird immer schwächer
270°	kaum sichtbar
zwischen 270° und 360°	es wird immer mehr hell
360° oder 0°	sehr hell
zwischen 0° und 90°	es wird immer schwächer
90°	kaum sichtbar.

Substituirt man für den Strahl **rs** einen der vom Doppelspathe polarisirten Lichtbüschel dergestalt, daß seine Polarisationsebene in der Ebene **Rrs** liegt, so erleidet er dieselben Aenderungen als der Strahl **Rr**, wenn er bei seiner Reflexion von **A** unter einem Winkel von 56° 45′ polarisirt wird. Hieraus geht hervor, daß ein vom Glase unter einem Winkel von 56° reflectirter Lichtstrahl mit dem durch doppelte Brechung polarisirten Lichte gleiche Eigenschaften hat.

§. 103.

In den vorstehenden Versuchen wird vorausgesetzt, daß der Lichtstrahl **Rr** nur von der Vorderfläche des Glases reflectirt wird. Malus fand indessen, daß das von der Hinterfläche des Glases reflectirte Licht sich gleichzeitig mit dem von der Vorderfläche reflectirten Lichte polarisirt, obgleich es unter einem verschiedenen Winkel reflectirt wurde, nämlich unter dem Brechungswinkel der Vorderfläche.

Der Winkel von 56° 45′, unter welchem das Licht bei der Reflexion vom Glase polarisirt wird, heißt sein größter Polarisationswinkel (das Maximum des Polarisationswinkels), weil unter diesem Winkel die größte Menge Licht polarisirt wird. Wurde das Licht unter kleinern oder größern Winkeln reflectirt, so polarisirte sich, wie Malus fand, nur ein Theil desselben, und der übrige Theil behielt alle Eigenschaften des gemeinen Lichts. Die polarisirte Menge nahm ab, so wie der Einfallswinkel sich von 56° entfernte, und verschwand bei 0°, dem senkrechten Auffallen, so wie bei 90°, dem schrägsten Auffallen.

Bei weiterer Fortsetzung seiner Untersuchungen fand Malus, daß das Maximum des Polarisationswinkels bei verschiedenen Körpern verschieden war; aus der Mischung mehrer Substanzen ergab sich, daß dies Maximum weder der Ordnung der brechenden noch der Ordnung der zerstreuenden Kräfte folgte, sondern daß es eine besondere Eigenschaft der Körper ist, unabhängig von den übrigen Wirkungen der Körper auf das Licht.

Nachdem Malus die Winkel bestimmt hatte, unter denen in gewissen Körpern, z. B. im Wasser und im Glase, die vollständige Polarisation stattfand, bemühte er sich, den Winkel kennen zu lernen, unter dem sie an der Berührungsebene zweier solcher mit einander in Verbindung gesetzter Körper stattfand. Indessen glückte ihm diese Untersuchung nicht, und er bemerkt ausdrücklich, »daß das Gesetz, nach welchem der letztere Winkel aus den beiden erstern abzuleiten sei, noch gefunden werden müsse.«

Würde ein unter dem Maximum des Polarisationswinkels vom Glase oder von andern Körpern reflectirter Lichtbüschel eben so vollständig polarisirt, als ein durch doppelte Brechung polarisirter, so müßten die beiden von der zweiten Platte **D** in den Azimuthen 90° und 270° reflectirten Lichtbüschel gleich unsichtbar sein; das ist aber nicht der Fall: der durch doppelte Strahlen polarisirte Büschel verschwindet gänzlich bei seinem Durchgange durch den zweiten Rhombus, selbst wenn das Licht direkt von der Sonne kommt; der durch Reflexion polarisirte Lichtbüschel verschwindet aber nur dann, wenn das Licht schwach ist, und wenn die Platten **A** und **B** nur eine schwache zerstreuende Kraft haben. Nimmt man Sonnenlicht, so wird eine große

Menge desselben nicht polarisirt, und diese Masse ist um so größer, wenn die Platten **A** und **B** eine bedeutende zerstreuende Kraft haben. Diese merkwürdige und äußerst wichtige Thatsache wurde von Malus nicht bemerkt.

Bei Untersuchungen über diesen Gegenstand fand ich eine sehr angenehme und sehr belehrende Abänderung des allgemeinen in (Fig. 87) dargestellten Versuchs. Haucht man, während die Glasplatten **A** und **B** in der angezeigten Lage sich befinden, in welcher der leuchtende Körper, von dem der Strahl **sS** kommt, unsichtbar ist, sanft auf die Platte **B**, so erscheint der Strahl **sE** wieder, und mit ihm der leuchtende Körper, von welchem er kommt. Der Grund davon ist leicht zu begreifen. Durch den Hauch setzt sich auf die Glasplatte eine dünne Wasserschicht, und da Wasser das Licht unter einem Winkel von 52° 45′ polarisirt, so hätte die Glasplatte **B** gegen den Strahl **rs** unter einem Winkel von 52° 45′ geneigt sein müssen, wenn es den polarisirten Strahl nicht hätte zurückwerfen sollen; *) da es aber eine Neigung von 56° gegen den einfallenden Strahl **rs** hat, so kann es auch nur einen Theil dieses Strahles zurückwerfen.

Gibt man jetzt dem Glase **B** eine Neigung von 52° 45′ gegen den Strahl **rs**, so reflectirt es einen Theil des polarisirten Strahles in's Auge, welches sich in **E** befindet. Haucht man dann aber auf das Glas **B**, so verschwindet das reflectirte Licht, weil nun die Reflexionsfläche von Wasser ist und eine Neigung von 52° 45′ hat, den Polarisationswinkel des Wassers. Bringt man in **B** zwei Glasplatten, von denen die eine unter 56° 45′, die andere unter 52° 45′ gegen den Strahl **rs** geneigt ist, und ist dieser groß genug, um auf beide Platten fallen zu können, so wird er sichtbar durch die eine, unsichtbar durch die andere Platte. Haucht man dann auf beide Platten, so erhält man das Paradoxon, durch einen Hauch ein unsichtbares Bild hervorzuzaubern, und ein sichtbares zu vernichten. Dieser Versuch ist noch auffallender, wenn der Strahl **rs** durch doppelte Brechung polarisirt ist.

§. 104.

Gesetz der Polarisirung des Lichtes durch Reflexion.

Durch eine sehr ausgedehnte Reihe von Versuchen, die ich mit

---

*) Wir lassen die Trennungsfläche zwischen dem Glase und dem Wasser außer Acht, und sehen das Glas **B** als einen dunkeln Körper an.

verschiedenen festen und flüssigen Körpern anstellte, um das Maximum des Polarisationswinkels zu bestimmen, wurde ich im Jahre 1814 auf das einfache Gesetz geleitet: der Brechungsexponent ist die Tangente des Polarisationswinkels. Zur Erläuterung dieses Gesetzes und um zu zeigen, wie man den Polarisationswinkel eines beliebigen Körpers findet, wenn man dessen Brechungsexponent kennt, sei **MN** (Fig. 88) die Fläche eines transparenten Körpers, z. B. Wasser. Man ziehe durch einen beliebigen Punkt **r** ein Loth **rA** auf die Fläche **MN**, und beschreibe aus demselben Punkte **r** als Mittelpunkt einen Kreis **MAND**. Durch den Punkt **A** lege man eine Tangente **AF** an den Kreis und schneide auf einem Maßstabe, worauf **Ar** 1 oder 10 ist, **AF** gleich dem Brechungsexponenten des Wassers 1,336 oder 13,36 ab. Hierauf verbinde man **r** und **F** durch eine gerade Linie, so ist diese der einfallende Strahl, polarisirt durch die Reflexion des Wassers in der Richtung **rS**. Der Winkel **ArR** beträgt 53° 11′; das Maximum des Polarisationswinkels für Wasser. Leichter erhält man diesen Winkel, wenn man in trigonometrischen Tafeln in der Spalte der natürlichen Tangenten die Zahl 1,336 aufsucht, wobei man den Winkel von 53° 11′ findet. Bestimmt man den zugehörigen Brechungswinkel **TrD** durch Rechnung oder Zeichnung, so findet man ihn gleich 36° 49′. Aus dem vorstehenden Gesetze folgt:

1) das Maximum des Polarisationswinkels für jede beliebige Substanz ist das Complement des Brechungswinkels. Für Wasser z. B. ist das Complement von 36° 49′ der Winkel 53° 11′, welches der Polarisationswinkel ist.

2) Beim Polarisationswinkel beträgt die Summe des Einfalls- und Brechungswinkels 90°. In Wasser z. B. ist der Einfallswinkel 53° 11′ und der Brechungswinkel 36° 49′, ihre Summe also 90°.

3) Wird ein Lichtstrahl **Rr** durch die Reflexion polarisirt, so bildet der reflectirte Strahl **rS** mit dem gebrochenen Strahle **rT** einen rechten Winkel.

Wird das Licht von der Hinterfläche des Körpers reflectirt, so ist das Polarisations-Gesetz folgendes: der Brechungsexponent ist die Cotangente des Polarisationswinkels.

Um für diesen Fall den Winkel zu bestimmen, sei **MN** (Fig.

89) die Hinterfläche eines beliebigen Körpers, z. B. des Wassers. Man ziehe vom Punkte r ein Loth rA auf MN und beschreibe aus r als Mittelpunkt einen Kreis MAN. Durch den Punkt A ziehe man die Tangente AF an den Kreis, mache auf einem Maßstabe, worauf rN 1 oder 10 ist, AT gleich dem Brechungsexponenten 1,336 oder 13,36, und verbinde F und r durch eine gerade Linie. Der Strahl rR wird polarisirt, wenn er in der Richtung rS reflectirt ist. Das Maximum des Polarisationswinkels ArR beträgt 36° 49', also genau so viel als der Brechungswinkel der Vorderfläche. Hieraus folgt:

1) der Polarisationswinkel an der Hinterfläche der Körper ist dem Complemente des Polarisationswinkels an der Vorderfläche oder dem Brechungswinkel dieser Fläche gleich. Daraus ist ersichtlich, warum die Theile der reflectirten Lichtmasse von der Vorder- und Hinterfläche einer parallelen transparenten Platte zu gleicher Zeit polarisirt werden;

2) der reflectirte Strahl Sr schließt mit dem gebrochenen Strahle rT einen rechten Winkel ein.

Die oben entwickelten Polarisationsgesetze lassen sich auf die Trennungsfläche zweier Mittel von verschieden brechenden Kräften anwenden. Ist das obere Fluidum Wasser, das untere Glas, so ist der Brechungsexponent ihrer Trennungsfläche $\frac{1,525}{1,336}$ oder der größte Brechungsexponent dividirt durch den kleinsten, welches 1,1415 gibt. Mit Hilfe dieses Exponenten findet sich der Polarisationswinkel gleich 48° 47'. Geht der Strahl aus der schwächer brechenden Fläche in die stärker Brechende über, z. B. aus Wasser in Glas, wie im vorstehenden Falle, so bedient man sich des oben vorgeschriebenen Gesetzes und Verfahrens für die Vorderfläche der Körper; geht aber der Lichtstrahl aus dem stärker brechenden Körper in den schwächer brechenden über, z. B. aus Cassiaöl in Glas, so muß man sich des für die Hinterfläche des Körpers angegebenen Gesetzes und Verfahrens bedienen.

Bringt man eine parallele Schicht Wasser auf Glas, dessen Brechungsexponent 1,508 ist, so wird der von beiden brechenden Flächen reflectirte Strahl polarisirt, wenn der Einfallswinkel auf die Vorderfläche des Wassers 90° beträgt.

§. 105.

Die vorstehenden Bemerkungen sind sämmtlich auf weißes Licht oder auf die leuchtendsten Strahlen des Spectrums anwendbar; da aber jede Farbe einen verschiedenen Brechungsexponenten hat, so setzt uns dieses Gesetz zugleich in den Stand, den Polarisationswinkel für jeden verschiedenfarbigen Strahl zu bestimmen, wie in nachstehender Tabelle, worin angenommen worden ist, daß der mittlere Strahl des Spectrums der leuchtendste sei.

Substanzen.	Strahlen.	Brechungsexponent.	Maximum des Polarisationswinkels.	Unterschied des größten u. kleinsten Polarisationswinkels.
Wasser	die rothen	1,330	53° 4′	15,
	die mittlern	1,336	53° 11′	
	die violetten	1,342	53° 19′	
Spiegelglas	die rothen	1,515	56° 34′	21′
	die mittlern	1,525	56° 45′	
	die violetten	1,535	56° 55′	
Cassiaöl	die rothen	1,597	57° 57′	1° 24′
	die mittlern	1,642	58° 40′	
	die violetten	1,687	59° 29′	

Die Polarisation verschiedener Strahlen des Spectrums unter verschiedenen Winkeln gibt uns ein Mittel an die Hand, das Vorhandensein des nicht polarisirten Lichtes beim Maximum des Polarisationswinkels oder den Umstand zu erklären, warum der Strahl sE (Fig. 87) niemals gänzlich verschwindet. Nimmt man rothes Licht, und stellt die beiden Platten unter einen Winkel von 56° 34′, den Polarisationswinkel für das rothe Licht, so verschwindet der Büschel sE gänzlich. Nimmt man aber weißes Licht und stellt die Platten unter 56° 45′, den Polarisationswinkel der gelben oder mittlern Strahlen, so werden nur die gelben Strahlen in dem Büschel sE verschwinden. Ein kleiner Theil von Roth und Violet werden reflectirt, weil die Gläser nicht unter dem Polarisationswinkel dieser Strahlen stehen, und die Mischung dieser beiden Farben gibt Purpur, welches die Farbe des im Büschel sE bleibenden nicht polarisirten Lichtes ist. Stellt man die Platten auf den Polarisationswinkel des Roth, so verschwindet bloß das Roth und der nicht polarisirte Strahl ist bläulichgrün. Würden die Platten auf den Polarisationswinkel von Blau gestellt, so würde bloß Blau verschwinden, und das nicht polarisirte Licht wäre orangeroth. Im Cassiaöl, Diamant, chromsauren Blei, Realgar, Spie-

geleisen und in andern Körpern von starker zerstreuender Kraft ist das nicht polarisirte Licht sehr schön und lebhaft.

Einige Krystalle, z. B. Doppelspath, chromsaures Blei u. s. w., haben in verschiedenen Flächen und selbst in verschiedenen Richtungen auf derselben Fläche verschiedene Polarisationswinkel; es gibt aber immer eine Richtung, in welcher die Polarisation nicht mit der doppelt brechenden Kraft behaftet und wo die Tangente des Polarisationswinkels dem gewöhnlichen Brechungsexponenten gleich ist.

§. 106.

Partielle Polarisation des Lichtes durch Reflexion.

Läßt man in dem Apparate (Fig. 87) auf die Platte **A** einen Lichtstrahl **Rr** unter einem Winkel auffallen, welcher größer oder kleiner als 56° 45′ ist, so verschwindet der Strahl **sE** nicht gänzlich. Da jedoch ein großer Theil als polarisirtes Licht verschwindet, so nannte Malus dieses Licht partiell polarisirt und betrachtete es als eine aus einem Theile völlig polarisirten und einem Theile gemeinen Lichtes bestehende Masse. Er fand, daß die polarisirte Lichtmasse kleiner wurde, so wie der Einfallswinkel sich vom Maximum des Polarisationswinkels entfernte.

Auch Biot und Arago behaupteten, daß das partiell polarisirte Licht aus polarisirtem und gemeinem Lichte zusammengesetzt sei, und der letztere bemerkte, daß in regelmäßig gleichen Entfernungen über und unter dem Maximum des Polarisationswinkels die reflectirte Lichtmasse eine gleiche Menge polarisirten Lichtes enthielte. In einem Glase von St. Gobain fand er, daß bei einem Einfallswinkel von 11° 40′ eben so viel polarisirtes Licht vorhanden war, als bei einem Winkel von 60° 18′. Im Wasser fand er bei 3° 29′ dasselbe Verhältniß des polarisirten Lichtes, wie bei einem Winkel von 73° 48′. Er bemerkt jedoch, daß das mathematische Gesetz, welches den Werth der Masse des polarisirten Lichtes an den Einfallswinkel und die brechende Kraft des Körpers bindet, noch nicht entdeckt sei.

Als ich diesen Gegenstand untersuchte, fand ich, daß, obgleich es nur einen Winkel gäbe, unter welchem das Licht durch eine einzige Reflexion vollkommen polarisirt würde, es bei jedem Einfallswinkel durch eine hinreichende Zahl von Reflexionen polarisirt werden könne, wie folgende Tabelle zeigt:

Unter dem Polarisationswinkel		Ueber dem Polarisationswinkel	
Anzahl der Reflexionen.	Winkel, unter welchem das Licht polarisirt.	Anzahl der Reflexionen.	Winkel, unter welchem das Licht polarisirt.
1	56° 45′	1	56° 45′
2	50° 26′	2	62° 30′
3	46° 30′	3	65° 33′
4	43° 51′	4	67° 33′
5	41° 43′	5	69° 1′
6	40° 00′	6	70° 9′
7	38° 33′	7	71° 5′
8	37° 20′	8	71° 51′

Bei der Polarisation des Lichtes durch successive Reflexionen brauchen die Reflexionen nicht unter demselben Winkel zu geschehen. Sie können über und unter dem Polarisationswinkel stattfinden, oder alle Reflexionen können unter verschiedenen Winkeln vor sich gehen.

Aus den vorliegenden Thatsachen folgt nothwendig, daß das partiell polarisirte oder unter einem vom Polarisationswinkel verschiedenen Winkel reflectirte Licht, eine physische Veränderung erlitten hat, die es für eine nachfolgende Reflexion polarisirbarer macht. So hat z. B. das Licht, welches bei 70° nach fünf Reflexionen noch unpolarisirt bleibt, statt gemeines Licht zu sein, eine solche Aenderung erlitten, daß es fähig ist, von einer einzigen sechsten Reflexion bei 70° vollständig polarisirt zu werden.

Meine Meinung über diesen Gegenstand wurde von Arago als unverträglich mit seinen Versuchen und Rechnungen, und von Herschel bei einer Vergleichung beider Meinungen als die weniger wahrscheinliche verworfen. Man wird jedoch aus dem Folgenden sehen, daß sie sich auf das schärfste beweisen läßt.

Aus den vorstehenden Untersuchungen erhellt nicht, auf welche Weise sich eine Masse gemeinen Lichtes durch die Reflexion in polarisirtes Licht verwandle. Diese Schwierigkeit habe ich durch eine Reihe von Versuchen im Jahre 1829 gehoben. Man weiß schon seit langer Zeit, daß die Polarisationsebene einer polarisirten Lichtmasse durch die Reflexion geändert wird. Ist diese Ebene gegen die Reflexionsebene um einen Winkel von 45° geneigt, so wird ihre Neigung durch eine Reflexion bei 80°, und noch mehr bei 70°, und noch stärker bei 60° vermindert; im Polarisationswinkel liegt die Ebene des polarisirten Strahls in der Reflexionsebene, wobei die Neigung bei Reflexionen über dem Polarisationswinkel wieder anhebt, und sich so lange vergrö-

ßert, bis sie bei 0° oder dem senkrechten Auffallen 45° beträgt *). Ich nahm dann an, daß eine Masse gemeinen Lichtes auf eine reflexionsfähige Fläche, wie (Fig. 87) dergestalt auffiel, daß die Reflexionsebene den Winkel von 90° halbirte, welchen die beiden Polarisationsebenen AB und CD mit einander einschlossen, wie in Fig. 90 Nr. 1, wo MN die Reflexionsebene, und AB, CD die Polarisationsebenen des weißen Lichtes sind, jede um 45° gegen MN geneigt. Nach einer Reflexion von einem Glase (dessen Brechungsexponent 1,525 ist) bei 80°, beträgt die Neigung von AB gegen MN nicht mehr 45°, sondern 33° 13', wie in Fig. 90 Nr. 2; eben so ist CD gegen MN um 33° 13' geneigt; AB schließt also mit CD nicht mehr einen Neigungswinkel von 90°, sondern von 66° 26' ein, wie in Nr. 2. Bei einem Einfallswinkel von 65° ist AB gegen CD unter einem Winkel von 25° 36' geneigt, wie in Nr. 3; bei einem Polarisationswinkel von 56° 45' fallen die Ebenen AB, CD der beiden Massen zusammen oder sind parallel, wie in Nr. 4. Bei Einfallswinkeln unter 56° 45' sind die Ebenen getrennt und ihre gegenseitige Neigung vergrößert sich, bis sie bei 0° Einfallswinkel wie bei 90° in Nr. 1 ist, nachdem sie bei nahe 48° 15' Einfallswinkel 25° 36' wie in Nr. 3 und bei nahe 30° Einfall 66° 26' wie in Nr 2 war.

Aus diesem Verfahren sieht man, wie das gemeine Licht in Nr. 1 sich durch die Wirkung einer brechungsfähigen Fläche in polarisirtes Licht Nr. 4 verwandelt. Jede der Ebenen der polarisirten Strahlen, welche das weiße Licht bilden, wird in den Zustand von Parallelismus gebracht, so daß der Büschel nur eine einzige Polarisationsebene wie in Nr. 4 hat, eine Art von Polarisation, die von der doppelten Brechung wesentlich verschieden ist. Die einzelnen Nummern der Fig. 90 zeigen die Lichtmassen in verschiedenen Zuständen der Polarisation vom gemeinen Lichte in Nr. 4. In Nr. 2 hat sich das Licht der Polarisation genähert und eine physische Aenderung in der Neigung seiner Ebenen erlitten; in Nr. 3 ist des noch mehr der Fall. Hierdurch wird denn das ganze Geheimniß des partiell polarisirten Lichtes klar, und es erhellet, daß das partiell polarisirte Licht solches ist, dessen Polarisationsebene eine Neigung unter 90° hat.

*) Man findet die Neigung nach folgender Regel: suche die Summe und die Differenz des Einfalls- und Reflexionswinkels, dividire den Cosinus der Summe durch den Cosinus der Differenz, so ist der Quotient die Tangente der verlangten Neigung.

Man sieht hiernach den Einfluß der allmählichen Reflexion ganz deutlich; eine einzige Reflexion bei 80° ändert die Ebenen, wie in (Fig. 90 Nr. 2); eine zweite von 80° nähert sie noch mehr; eine dritte abermals mehr und so weiter; und obgleich sie dadurch nie in den Zustand des völligen Parallelismus wie in Nr. 4 gelangen können (was nur beim Polarisationswinkel möglich ist), so kann man sie doch diesem Zustande so weit nähern, daß der polarisirte Strahl eben so vollkommen polarisirt erscheint, als wäre er unter dem Polarisationswinkel reflektirt. Auf solche Weise zeigt sich die Richtigkeit meiner ersten Versuche durch die Zerlegung des gewöhnlichen Lichtes.

Hieraus geht hervor, daß das partiell polarisirte Licht keinen einzigen Strahl vollkommen polarisirten Lichtes enthält; und wenn man es unter dem Polarisationswinkel von der zweiten Platte B (Fig. 87) reflektiren läßt, so verschwindet ein gewisser Theil, als wäre er vollkommen polarisirt, ein Resultat, worauf der Irrthum von Malus und Anderen sich stützt. Das so verschwundene Licht kann man scheinbar polarisirtes nennen, und ich habe an einem andern Orte gezeigt *), wie man seine Größe bei einem beliebigen Einfallswinkel und für jedes brechende Medium bestimmen könne. Die folgende Tabelle enthält einige Resultate mit Glas, dessen Brechungsexponent 1,525 ist. Die Menge des reflektirten Lichtes ist nach einer von Fresnel angegebenen Regel berechnet:

Einfallswinkel	Neigung der Polarisationsebenen AB, CD (Fig 90).	Quantität des reflectirten Lichtes auf 1000.	Quantität des polarisirten Lichtes auf 1000.
2°	0° 0′	43,23	0.00
20	80° 26′	43,41	7,22
40	47° 22′	49,10	33,25
56° 45′	0° 0′	79,5	79,5
70°	37° 4′	162 67	129,8
80°	66° 26′	391,7	156 0
85°	78° 24′	616,28	123,75
90°	90° 0′	1000,00	0,00

Zwanzigstes Capitel.

Polarisation des Lichtes durch die gewöhnliche Brechung.

§. 107.

Obgleich sich voraussehen ließ, daß das von den Körpern gebro-

*) Philosophical Transactions von 1829 pag. 76. und Edinburgh Journal of Sciences, new series, Nr. V. pag. 160.

chene Licht eine ähnliche Aenderung wie bei der Reflexion erleiden würde, so wurde doch erst im Jahre 1811 die Entdeckung gemacht, daß der gebrochene Theil des Lichtbüschels eine Portion polarisirten Lichtes enthielt *).

Zur Erklärung dieser Eigenschaft des Lichtes, sei Rr (Fig. 91) ein Lichtbüschel, welcher unter einem Winkel zwischen 80° und 90° auf eine horizontale Glasplatte Nr. 1 fällt. Ein Theil des Lichtes wird von den beiden Flächen r und a zurückgeworfen, und der gebrochene Büschel a enthält eine geringe Menge polarisirten Lichts.

Fällt der Büschel a auf eine zweite oder erste parallele Platte Nr. 2, so erleidet er zwei Reflexionen, und der gebrochene Büschel b enthält mehr polarisirtes Licht als a. Geht der Lichtstrahl auf dieselbe Weise durch die Platten Nr. 3, 4, 5 und 6 fort, so besteht der letzte gebrochene Büschel f, so weit sich darüber urtheilen läßt, ganz aus polarisirtem Lichte. Das Interessanteste dabei ist, daß der Strahl fg nicht in der Brechungs- oder Reflexionsebene, sondern in einer auf sie senkrechten Ebene polarisirt ist; seine Polarisationsebene ist also nicht vertical, wie die des gewöhnlichen Strahls im Doppelspathe oder die des durch Reflexion polarisirten Lichtes, sondern horizontal wie die Polarisationsebene des ungewöhnlichen Strahls im Doppelspathe. Durch eine große Zahl von Versuchen habe ich gefunden, daß das Licht einer Wachskerze in einer Entfernung von 10 — 12 Fuß unter folgenden Winkeln durch die nachstehende Zahl von Platten aus Kronglase polarisirt wurde.

Anzahl der Platten von Kronglas.	Winkel, unter welchem der Büschel polarisirt.	Anzahl der Platten von Kronglas.	Winkel, unter welchem der Büschel polarisirt.
8	79° 11′	27	57° 10′
12	74 0	31	53 28
16	69 4	35	50 5
21	63 21	41	45 35
24	60 8	47	41 41

Aus den vorstehenden Versuchen folgt, daß wenn man die Zahl 41,54 durch eine beliebige Anzahl von Platten aus Kronglas dividirt, der Quotient die Tangente des Winkels ist, unter welchem der Lichtbüschel von dieser Plattenzahl polarisirt wird.

*) Malus, Biot und der Verfasser vorliegenden Werkes machten diese Entdeckung durch Beobachtungen, die von einander unabhängig waren.

Die Polarisationskraft des gebrochenen Lichtes vermehrt sich also mit dem Einfallswinkel, sie ist 0 bei dem kleinsten Einfallswinkel oder bei senkrechtem Auffallen, und möglichst groß bei dem größten Einfallswinkel, welcher 90° beträgt. Auch fand ich durch verschiedene Versuche, daß die Polarisationskraft des Lichtes unter einem willkürlichen Winkel mit der brechenden Kraft des Körpers größer wird; man braucht also bei demselben Einfallswinkel von einem stärker brechenden Körper weniger Platten, als von einem Körper mit geringerer brechenden Kraft.

So wie Malus, Biot und Arago die Lichtbüschel **a**, **b** u. s. w. von ihrer vollkommenen Polarisirung als partiell polarisirtes Licht, bestehend aus gemeinem und polarisirtem Lichte betrachten: so schloß ich meinerseits, gestützt auf den nachstehenden Grund, daß das nicht polarisirte Licht eine physische Aenderung erlitten habe, die es der vollständigen Polarisirung nähert. Denn da man sechszehn Platten braucht, um einen unter 90° einfallenden Lichtstrahl vollständig zu polarisiren, so reichen acht Platten nicht hin, um bei demselben Winkel den Strahl vollständig zu polarisiren, und es bleibt ein Theil nicht polarisirt. Wäre dieser durchaus nicht polarisirt, wie das gemeine Licht, so müßte es bei einem Winkel von 69° durch sechszehn andere Platten gehen, ehe es sich vollständig polarisiren könnte; man braucht aber dazu nur acht Platten, daraus folgt, daß das Licht durch die acht ersten Platten beinahe zur Hälfte und durch die acht übrigen vollkommen polarisirt wird. Dieser Schluß läßt sich, obgleich ihn die französischen und englischen Physiker verworfen haben, strenge beweisen, wie aus nachfolgenden Bemerkungen erhellt.

Zur Bestimmung der Veränderung, welche die Brechung in der Polarisationsebene des polarisirten Strahls hervorbringt, nehme ich Prismen und Platten aus Glas, Platten aus Wasser und eine Platte metallischen Glases von sehr großer brechender Kraft. Die stärkste Aenderung, welche die brechende Platte hervorbrachte, fand ich beim schrägsten Auffallen oder bei 90° und diese Aendernng nahm ab bis zum senkrechten Auffallen oder zu 0°, wo sie gänzlich verschwand. Auch fand ich, daß der von einer einzigen Glasplatte hervorgebrachte größte Effect 16° 39′ unter einem Winkel von 86°, daß er 3° 5′ unter einem Winkel von 53°; 1° 12′ unter einem Winkel von 30°, nur 0° unter einem Winkel von 0° betrug *).

In einem Büschel gemeinen Lichtes, wo jede der beiden Ebenen AB und CD gegen die Brechungsebene eine Neigung von 90° 45′ hat (Fig. 92 Nr. 1), sind diese Ebenen durch eine Glasplatte bei dem Einfallswinkel von 86° um 16° 59′ getrennt, d. h. ihre gegenseitige Neigung beträgt nicht 90°, sondern 123° 18′ wie in Nr. 2.

Die Wirkung zweier oder dreier Platten bringt sie noch mehr auseinander, wie in Nr. 3; 7 oder 8 Platten trennen sie um 180°, so daß AB und CD, beinahe zusammen fallen, wie in Nr. 4, und einen einzigen polarisirten Strahl bilden, dessen Polarisationsebene auf der Brechungsebene senkrecht steht. Ich habe an einem andern Orte **) gezeigt, daß durch keine denkbare Anzahl von Brechungen diese Ebenen mathematisch zusammen gebracht werden können; sie nähern sich aber so leicht, daß allem Anscheine nach der Büschel mit einem Lichte gewöhnlicher Kraft polarisirt ist. Alles durch die Brechung polarisirte Licht ist nur partiell polarisirt und hat gleiche Eigenschaften mit dem durch Reflexion partiell polarisirten Lichte. Ein gewisser Theil des auf diese Weise partiell polarisirten Lichtes verschwindet, wenn es unter dem Polarisationswinkel von der Platte B (Fig. 87) reflektirt wird, und diese Größe, deren Berechnung ich an einem andern Orte gezeigt habe, ist in folgender Tabelle für eine einzige Glasfläche, deren Brechungsexponent 1,525 ist, mitgetheilt.

Einfallswinkel.	Neigung der Polarisationsebenen AB, CD (Fig. 90).	Menge der durchgelassenen Lichtstrahlen auf 1000.	Menge der polarisirten Lichtstrahlen auf 1000.
0°	90° 0′	956,77	0,00
20	90° 26	966,59	7,22
40	92 0	950,90	33,25
56° 45′	94 58	920,5	79,5
70	98 56	837,33	129,8
80	104 55	608,3	156,6
85	108 44	383,72	123,75
90	112 58	000,00	000,00

Obgleich die Menge des durch Brechung polarisirten Lichtes in der letzten Colonne dieser Tabelle nach einer ganz andern Formel aus-

*) Die Neigung findet sich nach folgender Regel: Man bestimme den Unterschied unter dem Einfalls- und Brechungswinkel, und nehme den Cosinus dieses Differenzwinkels. Diese Zahl ist die Cotangente des gewünschten Neigungswinkels, dessen Doppeltes die Neigung von AB gegen CD gibt.

**) Philosophical Transactions für das Jahr 1829 pag. 137. oder Edinburgh Journal of Sciences, new series Nr. VI. pag. 218.

gerechnet ist, als die, wornach man die Menge des durch Reflexion polarisirten Lichts findet, so sind doch beiden Menge auf eine sonderbare Art vollkommen dieselben.

Daraus folgt:

»wird ein Strahl gemeinen Lichtes von einer beliebigen Fläche reflektirt und gebrochen, so ist die Menge des durch Brechung polarisirten Lichtes genau der Menge des durch Reflexion polarisirten gleich.«

Dies Gesetz ist durchaus nicht auf Platten anwendbar, wie es nach dem Versuche von Arago der Fall zu sein scheint.

Wendet man die vorstehende Methode der Zerlegung auf das von der Hinterfläche der Platten reflektirte Licht an, so findet man folgendes merkwürdige Gesetz:

»ein Lichtbüschel des von der Hinterfläche transparenter Platten reflektirten Lichtes, welches nach zwei Brechungen und einer inzwischen vorgegangenen Reflexion in's Auge gelangt, enthält bei jedem Einfallswinkel von 0° bis zum Maximum des Polarisationswinkels einen Theil in der Reflexionsebene polarisirten Lichtes. Ueber dem Polarisationswinkel vermindert sich der Theil des in der Reflexionsebene polarisirten Strahls, bis (für Glas) der Einfallswinkel 78° 7′ wird, wo er verschwindet, und wo der ganze Strahl das Ansehen des gemeinen Lichtes hat. Ueber diesen Winkel hinaus enthält der Büschel eine Quantität senkrecht auf die Reflexionsebene polarisirten Lichtes, welches sich vermehrt, bis zu seinem Maximum, und sich vermindert bis zu Null bei 90° *).

§. 108.

Da ein Bündel von Glasplatten auf das Licht eben so wirkt und dasselbe polarisirt, wie die Reflexion unter dem Polarisationswinkel von einer Glasfläche, so kann man in dem Apparate (Fig. 87) für die beiden Platten A und B ein Bündel von Glasplatten substituiren. Ist A (Fig. 93) ein solcher Bündel von Glasplatten, welcher den durchgelassenen Strahl st polarisirt, stellt man dann ein zweites Bündel B wie in der Figur auf, und sind die Brechungsebenen von B denen von A parallel, so dringt der Strahl st durch den zweiten Bün-

---

*) Philosophical Transactions von 1830 pag. 145. oder Edinburg. Journal of sciences, new series Nr. VI. pag. 234.

del hindurch, und wenn st unter dem Polarisationswinkel auf B fällt, so wird keiner seiner Strahlen von den Platten in B reflektirt. Dreht man B um seine Axe, so vermindert sich das durchgelassene Licht vw allmählich, und die Platten des Bündels reflektiren immer mehr Licht, bis nach einer Drehung von 90° der Strahl vw verschwindet und sämmtliches Licht reflektirt wird.

Setzt man die Drehung fort, so kommt der Strahl wieder zum Vorschein, erlangt seine größte Stärke bei 180°, seine kleinste bei 270° und seine größte bei 0° nach einer vollständigen Umdrehung.

Mit Hülfe dieses Apparats kann man alle die Versuche mit gebrochenem und polarisirtem Lichte anstellen, die man mit dem Apparate (Fig. 87) an reflektirtem und polarisirtem Lichte machte.

Wir haben zwei Methoden zur Verwandlung des gemeinen Lichts in polarisirtes mitgetheilt: 1) indem man die beiden, das gemeine Licht bildenden verschiedenen polarisirten Lichtbüschel durch doppelte Brechung trennt; 2) indem man die Ebene der beiden Büschel durch die Wirkung brechender und reflektirender Kräfte so wendet, bis sie zusammenfallen und dann polarisirtes Licht in einer einzigen Ebene geben. Es bleibt uns noch eine andere Methode zu erklären, wornach man einen der beiden das gemeine Licht bildenden, verschieden polarisirten Büschel zerstreut oder absorbirt und den andern Büschel in einer einzigen Ebene polarisiren läßt. Man erhält diese Wirkung mit dem Achat, dem Turmalin u. s. w.

§. 109.

Läßt man einen Strahl gemeinen Lichtes durch eine Achatplatte hindurchgehen, so verwandelt sich der eine der verschieden polarisirten Lichtbüschel in nebliges Licht in einer gewissen Lage, und der andere polarisirte Büschel in einer andern Lage, dergestalt, daß einer der polarisirten Büschel mit einer einzigen Polarisationsebene bleibt. Dieselbe Wirkung erhält man mit dem Doppelspath, dem Arragonit und mit künstlichen Salzen, die besonders dazu zubereitet werden müssen, daß sie einen der verschiedenen polarisirten Lichtbüschel zerstreuen *). Läßt man gemeines Licht durch eine dünne Turmalinplatte hindurch gehen, so wird einer der beiden, das gemeine Licht bildenden verschieden pola=

---

*) Edinburg. Encyclop. vol. XV. pag. 600 und 601. und Philosoph. Transact. von 1829 pag. 146.

risirten Büschel gänzlich absorbirt in einer Lage und der andere in einer andern Lage, wobei dann immer der zweite Büschel mit einer einzigen Polarisationsebene bleibt. Deshalb bedient man sich bisweilen der Achat- oder Turmalinplatten, entweder um einen Strahl in eine Ebene zu polarisiren, oder um einen der Büschel einer zusammengesetzten Lichtmasse zu zerstreuen oder zu absorbiren, wenn man die Farbe und die Eigenschaften jedes einzelnen Büschels für sich untersuchen will.

Einundzwanzigstes Capitel.

Farbe krystallisirter Platten im polarisirten Lichte.

§. 110.

Die lebhaften Farben und die farbigen Ringsysteme, die beim Durchgehen des polarisirten Lichtes durch transparente Körper von doppelter Brechung zum Vorschein kommen, sind unstreitig die schönsten Phänomene der Optik. Diese Farben wurden zuerst durch die von einander unabhängigen Beobachtungen von Arago und dem Verfasser dieses Werkes entdeckt, und mit großem Erfolge von Biot und andern Physikern untersucht.

Zur Erklärung dieser Phänomene mache man einen Polarisirungsapparat, ähnlich dem (Fig. 87), aber ohne Tuben, wie er in (Fig. 94) abgebildet ist. A ist eine Glasplatte, welche den unter einem Winkel von 56° 45′ auffallenden Lichtstrahl Rr polarisirt und ihn dann in der Richtung rs reflektirt; er wird dann von einer zweiten Glasplatte B, deren Reflexionsebene senkrecht auf der von A steht, aufgenommen und in das in O befindliche Auge unter einem Winkel von 56° 45′ reflektirt.

Damit der polarisirte Büschel rs eine hinreichende Helligkeit bekomme, muß man für die Platte A ein Bündel von 10 bis 12 Platten aus Fensterglas oder besser dünner Platten von gut geöltem Flintglas nehmen. Die Platte oder die Platten A heißen Polarisationsplatten, weil sie nur dazu dienen, einen breiten hellen Büschel polarisirten Lichtes zu geben. Die Platte B heißt die Zerlegungsplatte, und dient dazu, das durch irgend einen zwischen das Auge und die Polarisationsplatte gestellten Körper durchgelassene Licht in seine verschiedenen Theile zu zerlegen.

Ist die Lichtmasse Rr Tageslicht, was zu einem gewöhnlichen

Zwecke genügt, so erblickt das in O befindliche Auge den Theil des Himmels, von welchem der Büschel Rr kommt, in der Richtung Os. Weil aber der Strahl rs polarisirt ist, so wird man, wenn er unter einem Winkel von 56° 45′ von A reflektirt wird, fast gar kein reflektirtes Licht von der Platte B erhalten, d. h. das in O befindliche Auge sieht an der Stelle des Himmels, von welcher Rr kommt, einen schwarzen Fleck; sieht man diesen schwarzen Fleck nicht, so haben die Platten A und B nicht die richtige Neigung. Bewegt man dann A oder B oder auch alle beide, so findet man leicht die Lage, in welcher der schwarze Fleck am dunkelsten ist, und dann ist der Apparat richtig aufgestellt.

§. 111.

Man nehme nun eine dünne Platte von schwefelsaurem Kalk oder Glimmer, die eine Dicke von $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{60}$ Zoll hat, und die man im transparenten Zustande mit einem feinen Messer oder einer Lanzette von einer Platte dieser Mineralien ablösen kann, und stelle diese wie CDEF so auf, daß der polarisirte Lichtbüschel rs senkrecht hindurch geht. Bringt man dann das Auge in O und betrachtet den schwarzen Fleck in der Richtung Os, so ist die Fläche der schwefelsauren Kalkplatte überall mit den schönsten Farben bedeckt. Hat die Platte eine gleichmäßige Dicke, so ist ihre Färbung vollkommen gleichmäßig; sind aber einzelne Stellen verschieden dick, so haben diese auch eine verschiedene Farbe, einige sind blau, andere roth, andere grün, andere gelb und alle mit der größten Helligkeit. Dreht man die Platte CDEF in ihrer senkrechten Lage auf dem polarisirten Lichtbüschel herum, so werden die Farben mehr oder weniger lebhaft, ohne ihre Beschaffenheit zu ändern und es gibt zwei Linien CD und EF, die sich rechtwinklicht durchschneiden und die so beschaffen sind, daß wenn sich keine von ihnen in der Reflexionsebene rsO befindet, keine Farben zum Vorschein kommen, und man den schwarzen Fleck sieht, als wäre die schwefelsaure Kalkplatte nicht vorhanden, oder als hätte man für sie eine Glasplatte genommen. Nach fortgesetzter Drehung der Kalkplatte kommen die Farben wieder zum Vorschein und erhalten ihren größten Glanz, wenn eine der gegen CDEF unter 45° geneigten Linien GH und LK in der Polarisationsebene rsO liegt. Die Ebene Rrs, worin das Licht polarisirt ist, heißt die Hauptpolarisationsebene, die Linien CD und EF heißen die neutralen Axen und die Linien

GH und LK die Depolarisationsaxen, weil sie den polarisirten Strahl rs depolarisiren oder seine Polarisation ändern. Die Helligkeit oder die Intensität der Farben nimmt allmählich zu, von der Lage an, worin keine Farbe erscheint, bis zu ihrem Maximum von Schönheit.

Wir wollen annehmen, die Platte CDEF befinde sich in der Lage, worin sie die schönsten Farben gibt, so also, daß GH parallel oder senkrecht zu der Hauptpolarisationsebene rRs oder zu der Ebene rsO ist, und daß die Farbe roth sei. Dreht man dann die Platte B um den Strahl rs, so daß sie immer die Neigung 56° 45′ gegen ihn behält, so hat man das schönste Roth bei 0° Drehung; sowie die Platte B sich aus der Lage, die sie in der Figur hat, entfernt, wird ihr Glanz allmählich geringer und verschwindet bei 45°; man erblickt dann den schwarzen Fleck am Himmel. Ueber 45° hinaus sieht man ein schwaches Grün, welches immer lebhafter wird bis zu 90°, wo es seinen höchsten Glanz hat. Von hier aus wird das Grün allmählich blasser, und verschwindet bei 135° gänzlich. Dann erscheint das Roth wieder, und erhält seinen höchsten Glanz bei 180°. In der zweiten Hälfte der Umdrehung gehen dieselben Veränderungen dieser Farben vor, bis die Platte B in ihre anfängliche Lage zurückgekommen ist. Aus diesem Versuche scheint hervorzugehen, daß man nur eine Farbe erhält, wenn die Platte CDEF sich allein dreht, dagegen zwei Farben in jeder Hälfte der ganzen Umdrehung, wenn die Platte B sich allein dreht.

Wiederholt man den Versuch mit Platten von verschiedenen Dicken, welche verschiedene Farben geben, so findet man, daß die beiden Farben sich einander ergänzen, zusammengemischt also weißes Licht geben würden.

§. 112.

Um die Ursache dieser schönen Phänomene zu begreifen, bringe man das Auge zwischen die Platte CDEF und zwischen B; dann sieht man, daß das durchgelassene Licht weiß ist, welche Lage auch die Platte haben mag. Daraus geht hervor, daß die Platte B durch Reflexion das weiße Licht zerlegt und in Farben trennt. Der schwefelsaure Kalk ist ein doppelt brechender Krystall, und eine seiner neutralen Axen CD der Durchschnitt einer durch seine Axe gehenden Ebene, während EF der Durchschnitt einer auf die Hauptebene senkrechten Ebene ist.

Bringt man nun eine dieser Ebenen, etwa EF, wie in der Figur, in die Polarisationsebene rRs des polarisirten Lichts, so ist der Strahl nicht doppelt, sondern geht durch den gewöhnlichen Strahl der krystallisirten Schicht und wird nicht reflektirt, wenn er auf C fällt. Auf dieselbe Weise geht CD, wenn er in die Ebene Rrs gebracht wird, gänzlich in den gewöhnlichen Strahl über, und wird bei seinem Auftreffen auf C nicht reflektirt. In diesen beiden Lagen gibt also die krystallisirte Platte nur ein einziges Bild oder einen einzigen Büschel; und da die Polarisationsebene dieses Bildes oder Büschels auf der Reflexionsebene von B senkrecht steht, so kann kein Licht in das in O befindliche Auge reflektirt werden. In jeder andern Lage der doppelt brechenden Platte erzeugen sich dagegen zwei Bilder von verschiedener Stärke, wie man in (Fig. 86) sieht; und wenn eine der Depolarisationsaxen GH oder KL in der Hauptpolarisationsebene liegt, so sind die beiden Bilder gleich hell und in entgegensetzter Ebene polarisirt, das eine in der Hauptpolarisationsebene und das andere in einer auf sie senkrechten Ebene.

Das eine dieser Bilder ist roth, das andere grün, aus Gründen, die wir in der Folge erklären wollen; und da das Grün in der Polarisationsebene Rrs polarisirt ist, so wird es von der Platte B nicht reflektirt; das Roth dagegen, welches senkrecht auf diese Ebene polarisirt ist, wird in's Auge zurückgeworfen, und folglich allein gesehen. Dreht man B um 90°, so wird aus ähnlichen Gründen das Roth nicht reflektirt, sondern nur das Grün, welches dann in das in O befindliche Auge übergeht. Die Platte B zerlegt also den weißen Lichtbüschel, welcher von der schwefelsauren Kalkplatte durchgelassen wird, dadurch, daß sie die in ihre Reflexionsebene polarisirte Lichthälfte reflektirt und die in die entgegengesetzte Ebene polarisirte Lichthälfte zu reflektiren sich weigert. Wären die beiden Büschel weißes Licht gewesen, wie bei dicken Platten schwefelsauren Kalks, so würde statt der verschiedenen Farben bei der Umdrehung der Platte B der reflektirte Büschel sO verschiedene Grade von Helligkeit erhalten haben, je nachdem die beiden weißen verschiedenartig polarisirten Büschel mehr oder weniger reflektirt wären; die Lagen der größten Helligkeit würden die gewesen sein, wo das Grün am lebhaftesten war, und die dunkelsten, wo man keine Farben sah.

§. 113.

Die Zerlegung des weißen, aus Roth und Grün bestehenden Lichtbüschels bewirkte die Platte durch ihre Eigenschaft, den einen Büschel zu reflektiren und den andern durchzulassen oder zu brechen; man kann jedoch denselben Büschel auf verschiedene Weise zerlegen. Läßt man ihn durch einen Doppelspathrhombus gehen, welcher dick genug ist, um Grün und Roth durch die doppelte Strahlenbrechung von einander trennen zu können, so sieht man gleichzeitig die beiden farbigen Büschel, indem der eine ein gewöhnliches, der andere ein ungewöhnliches Bild gibt, was im ersten Falle nicht stattfinden konnte. Man entferne nun die Platte B und bringe an ihre Stelle einen Kalkspathrhombus, dessen Hauptschnittfläche in der Reflexionsebene rsO liegt, oder senkrecht auf der Hauptpolarisationsebene Rrs steht, und mache in der vom Auge entferntesten Seite des Rhombus eine runde Oeffnung, die groß genug ist, damit ihre beiden durch die doppelte Brechung hervorgebrachten Bilder sich berühren können. Nimmt man dann die Platte CDEF weg, so sieht das Auge hinter dem Rhombus nur das ungewöhnliche Bild der Oeffnung, und das gewöhnliche ist verschwunden; stellt man die Platte mit ihrer neutralen Axe parallel oder senkrecht auf die Ebene Rrs, wie in der Figur, wieder hin, so wird keine Wirkung hervorgebracht; stellt man aber eine der Polarisationsaxen in die Ebene Rrs, so wird das gewöhnliche Bild der Oeffnung lebhaft roth, das ungewöhnliche lebhaft grün, indem der Rhombus diese beiden gefärbten und polarisirten Büschel durch die doppelte Brechung getrennt hat. Dreht man die Platte, so ändert sich die Helligkeit der Farben, jedes Bild behält aber dieselbe Farbe. Läßt man die Platte in der Lage, worin sie die schönsten Farben gibt, und dreht dagegen den Kalkspathrhombus, bis seine Hauptschnittfläche eine ganze Umdrehung gemacht hat, so werden die beiden Bilder bei einer Abweichung von 45° von ihrer anfänglichen Lage vollkommen weiß; bei 90° wird das gewöhnliche Bild, welches roth war, grün, und das ungewöhnliche vorhin grüne Bild roth. Bei 135°, 225° und 315° sind beide Bilder weiß; bei 180° ist das gewöhnliche Bild roth, das ungewöhnliche grün; bei 270° ist das gewöhnliche Bild grün, das ungewöhnliche roth.

Macht man auf der Fläche des Rhombus eine große kreisförmige Oeffnung, so bedecken sich das gewöhnliche und ungewöhnliche Bild O

und E theilweise, wie in (Fig. 95); die bedeckten Theile F und G sind schön weiß, die übrigen C und D haben die vorhin beschriebenen Farben. Daraus geht hervor, daß die beiden Farben C und D complementäre sind und weißes Licht geben. Man kann auch den zusammengesetzten, vom schwefelsauren Kalk durchgelassenen Büschel mit einer Agatplatte oder mit einem künstlich so zubereiteten Krystalle zerlegen, daß er einen der Büschel zerstreut. Bringt man Agat zwischen das Auge und die Platte CDEF, so zerstreut dieser den rothen Büschel in nebeliges Licht, und bringt den grünen in's Auge; in einer andern Lage zerstreut er den grünen und läßt den rothen in's Auge gelangen. Mit einem passenden Stücke Agat ist der Versuch recht angenehm und belohnend, denn das nebelige Licht, welches um das lebhafte Bild zerstreut wird, ist roth, wenn das deutliche Bild grün, und grün, wenn dieses roth ist.

Auch kann man den Büschel zerlegen, wenn man ihn von Turmalin oder ähnlichen Substanzen absorbiren läßt. In einer gewissen Lage absorbirt der Turmalin das Grün und läßt das Roth durch; in einer andern absorbirt er das Roth und läßt das Grün durch. Dabei ist aber seine gelbe Farbe ein Uebelstand.

Man kann diese Zerlegung auch mit einem Bündel Glasplatten A oder B (Fig. 93) vornehmen. In einer Lage läßt dieser Bündel das Roth durch, und reflektirt das Grün; in einer andern Lage läßt er das Grün durch und reflektirt das Roth, auf eine der Zerlegungsplatte B (Fig. 94) freilich entgegengesetzte Weise, jedoch nach denselben Gesetzen.

§. 114.

In allen diesen Versuchen muß man der schwefelsauren Kalkplatte eine solche Dicke geben, daß die rothe und grüne Farbe zum Vorschein kommt. Nimmt man dagegen ein Plättchen von 0,0046 Zoll Dicke und setzt sie für die Platte CDEF (Fig. 94), so erzeugt diese keine Farben, sondern man erblickt den schwarzen Fleck am Himmel, wie auch die Lage der Platte beschaffen sein mag. Ein 0,00124 Zoll dickes Plättchen gibt das Weiß erster Ordnung in der Reihe von Newton's Farben (§. 75), und eine Dicke von 0,01818, sowie noch dickere Platten geben ein aus allen Farben zusammengesetztes Weiß. Alle Platten, die mit ihrer Dicke zwischen 0,00124 und 0,01818 fallen, geben alle die Zwischenfarben der Newton'schen Tafel zwischen

dem Weiß erster Ordnung und dem aus allen Farben zusammengesetzten Weiß; d. h. die in das in O befindliche Auge reflektirten Farben sind die der zweiten Colonne, und die, welche man bei Brechung der Platte B erhält, die der dritten Colonne, wo die eine Colonne den reflektirten Farben dünner Plättchen und die andere den von ihnen durchgelassenen Farben entspricht. Will man die Dicke einer schwefelsauren Kalkplatte bestimmen, die eine bestimmte Farbe der Tabelle geben soll, so muß man seine Zuflucht zu den Zahlen der letzten Colonne für Glas nehmen, welches mit dem schwefelsauren Kalke fast einerlei Brechungsvermögen hat. Gesetzt man wollte die Dicke zu dem Roth erster Ordnung der Farbenreihe haben. In der Colonne für Glas steht neben Roth die Zahl $5\frac{4}{5}$; da nun das Weiß erster Ordnung eine Dicke von 0,00124 Zoll erfordert, zu welchem die Zahl $3\frac{2}{5}$ gehört, so schließt man: $3\frac{2}{5}$ verhält sich zu $5\frac{4}{5}$, wie 0,00124 zu 0,00211, welches die Dicke zum Roth erster Ordnung ist. Auf gleiche Weise findet sich die von einer Platte hervorgebrachte Farbe, wenn man ihre Dicke kennt.

Da die Farben nach der Dicke der Platten verschieden sind, so wird man, wenn man aus dem schwefelsauren Kalk einen Keil verfertigt, dessen Dicke von 0,00124 bis 0,01818 variirt, alle Newton'schen Farben auf einmal in parallelen Strahlen erblicken. Einen Versuch derselben Art kann man auf folgende Weise anstellen. Man nimmt eine schwefelsaure Kalkplatte MN (Fig. 96), deren Dicke größer als 0,01818 ist, leimt sie mit Hausenblase auf ein Glas, bringt sie auf die Drehbank und dreht mit einem sehr starken Werkzeuge eine concave oder hohle Fläche zwischen A und B ein, die so dünn in der Mitte ist, daß sie durchbricht oder wenigstens im Begriff ist durchzubrechen. Setzt man dann die Platte MN in Wasser, so zerstört dieses einen kleinen Theil der Substanz und polirt die ausgedrehte Fläche bis zu einem gewissen Grade. Stellt man nun die Platte in CDEF (Fig. 94), so erblickt man alle Farben der Newton'schen Tafel in concentrischen Ringen wie in (Fig. 96). Nimmt die Dicke rasch ab, so liegen die Ringe sehr dicht aneinander; ist dagegen die ausgehöhlte Fläche groß und nimmt die Dicke langsam ab, so sind die farbigen Streifen breit. Statt des Ausdrehens der Fläche ist es vielleicht besser, die Concavität dadurch hervorzubringen, daß man nach und nach eine convexe Fläche von sehr großem Halbmesser durch Rei-

bung einschleift, wobei man sich des feinsten Schmirgels bedienen muß. Wird die Fläche **MN** auf diese Weise zubereitet, so kann man ihr die schönste Politur geben, wenn man eine Glasplatte mit canadischem Balsam aufleimt; der Balsam trocknet und die Platte läßt sich dann so lange aufbewahren, als man will.

Mittelst dieser Methode kann man die schönsten Patronenmuster, z. B. zu Bankscheinen u. s. w., auf einer schwefelsauren Kalkplatte erhalten, welche 0,01818 Zoll dick und auf Glas geleimt ist. Man gräbt die Linien, welche die Patronen bilden sollen, zu verschiedenen Tiefen in das Mineral dergestalt ein, daß mehre Dicken des Minerals stehen bleiben, welche verschiedene Farben geben, sobald man die Platte in den Apparat (Fig. 94) bringt. Auf dieselbe Weise kann man farbige Zeichnungen von Thieren oder Landschaften erhalten, wenn man das Mineral bis auf die Dicke bringt, welche die verlangte Farbe gibt. Man bringt sonst auch diese Wirkung durch eine erhaben gestochene Platte hervor, entweder mit Wasser oder anderen Flüssigkeiten, welche den schwefelsauren Kalk auflösen, um dem Mineral die verlangte Dicke zu geben. Man kann auch auf das Mineral eine Geheimschrift bringen, wenn man die geschnittene, gedrehete oder aufgelöste Fläche mit einem Balsam oder einem Fluidum von gleicher brechenden Kraft mit dem schwefelsauren Kalk bedeckt; sie ist unleserlich im gemeinen Lichte, dagegen deutlich zu unterscheiden im polarisirten Lichte, wenn die Platte in **CDEF** (Fig. 94) gebracht wird.

Da die in dem vorstehenden Versuche hervorgebrachten Farben von der Dicke der sie erzeugenden Körper abhängig sind, so erhellet, daß zwei über einander gelagerte Schichten, welche ähnliche und parallele oder zusammenfallende Linien haben, eine Farbe geben, die der Summe ihrer Dicke correspondirt, und nicht die Farbe, die durch die Mischung der beiden Farben entsteht, welche sie einzeln hervorbringen. Nimmt man z. B. zwei Schichten schwefelsauren Kalks, von denen die eine das Orange erster Ordnung gibt, zu dem in der letzten Spalte der Newton'schen Tabelle (§. 75.) $5\frac{1}{6}$ gehört, während die zweite das Roth zweiter Ordnung gibt, welchem die Zahl $11\frac{5}{6}$ entspricht, so werden diese Zahlen addirt als Summe 17 geben, die zum Grün dritter Ordnung gehörige Zahl. Kreuzen sich die beiden Platten aber oder stehen die ähnlichen Linien senkrecht aufeinander, so erzeugen sie zusammen eine Farbe, welche der Differenz ihrer Dicken

entspricht. So ist z. B. im vorigen Beispiele die Differenz der Zahlen $6\frac{2}{3}$, welche zu Röthlich-Violett zweiter Ordnung gehört. Sind die senkrecht auf einander stehenden Platten gleich dick, und erzeugen sie dieselben Farben, so vernichten sie ihre Wirkung gegenseitig und geben Schwarz, indem dann die Differenz der Zahlen 0 ist.

Nach diesem Principe kann man verschiedene Farben dadurch hervorbringen, daß man Platten sich kreuzen läßt, die dick genug sind, um einzeln keine Farben zu geben, wenn nur die Differenz ihrer Dicken nicht über 0,01818 ist; denn ist die Differenz größer, so wird die Farbe weiß und liegt außer den Grenzen der Tafel.

Nimmt man zu dem polarisirten Lichte in den vorstehenden Versuchen gleichartiges, so sind die von der Platte **B** reflektirten Farben beständig die des angewandten Lichtes. Im rothen Lichte z. B. sind die nach den verschiedenen Dicken des Minerals aufeinander folgenden Farben roth bei der einen, schwarz bei der folgenden, roth bei einer andern, schwarz bei der folgenden; und dasselbe gilt bei den übrigen Farben.

Bringt man die Platte (Fig. 96) in rothes Licht, so sind die Ringe **A** und **B** kleiner als im violetten; für die Zwischenfarben haben sie eine mittlere Größe, wie die früher beschriebenen Ringe dünner Plättchen. Bedient man sich des weißen Lichtes, so sind die verschiedenen Ringsysteme auf dieselbe Weise combinirt, als in den dünnen Plättchen von Luft, und bilden in ihrer Verbindung die farbigen Ringe der Newton'schen Tabelle.

Zweiundzwanzigstes Capitel.

System farbiger Ringe in den Krystallen mit einer einzigen Axe.

§. 115.

Bei allen vorhergehenden Versuchen muß man die Platte **CDEF** (Fig. 94) in einen solchen Abstand vom Auge oder von der Platte **B** stellen, daß man deutlich seine Fläche wahrnehmen kann; und in dem Apparate von verschiedenen Optikern war dieser Abstand beträchtlich. Im Jahre 1813 wählte ich eine neue Methode, wodurch ich den zu untersuchenden Krystall oder die Platte so nahe als möglich an's Auge brachte, indem ich zwischen ihn und das Auge eine sehr kleine Platte **B**, von $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke (Fig. 94) brachte, um das von dem

Krystall durchgelassene Licht zu reflektiren. Ich fand durch diese Mittel die Ringsysteme um die Axe der Krystalle mit einer oder mit zwei Axen, welche die schönsten Phänomene der Optik sind, und dem Physiker durch ihre Zerlegung die wichtigsten Entdeckungen entgegen führten.

Ich entdeckte diese Ringe im Rubin, im Smaragd, im Topas, im Eise, im Salpeter und in vielen andern Körpern; Wollaston fand sie hernach auch im Doppelspathe.

Zur Beobachtung des Ringsystems um eine einzige Axe doppelter Brechung nehme man einem Doppelspathrhombus die Spitze der stumpfen Winkel **A**, **X** (Fig. 96) weg und ersetze sie durch ebene und polirte Flächen, welche senkrecht auf der Axe **AX** der doppelten Brechung stehen. Da dies sich aber ohne Hülfe eines Steinschneiders schwer ausführen läßt, so habe ich folgende Methode gewählt, die das Licht längs der Axe **AX** durchgehen läßt, ohne den Rhombus zu berühren. Es sei **CDEF** (Fig. 97) die Hauptschnittfläche des Rhombus; man leime mit canadischem Balsam auf die beiden Flächen **CD** und **FE** zwei Prismen **DLK** und **FGH**, deren Winkel **LDK** und **GFH** gleich sind und beinahe 41° betragen. Läßt man dann auf die Fläche **DL** einen Lichtstrahl senkrecht auffallen, so geht er längs der Axe **AX** durch und tritt senkrecht aus **FG** heraus. Man stelle den so zubereiteten Rhombus in dem polarisirten Büschel **rs** (Fig. 97) so auf, daß **rs** durch die Axe **AX** geht, und bringe ihn so nahe als möglich an **B**. Dann halte man das Auge dicht an **B**, und sehe längs **Os** wie durch das reflektirte Bild des Rhombus **CE**, so sieht man längs der Axe **AX** ein brillantes System farbiger Ringe (Fig. 98), die von einem rechtwinklichen schwarzen Kreuze **ABCD** geschnitten worden, dessen Arme sich im Mittelpunkte der Ringe treffen. Die Farben dieser Ringe sind ganz die der Newton'schen Tabelle, und folglich einerlei mit denen des Ringsystems, welches man durch die Reflexion der Luftschicht zwischen den beiden Linsen erhält. Dreht man den Rhombus um seine Axe, so erleiden die Ringe keine Veränderung; befestigt man aber den Rhombus, oder hält man ihn fest, indem man ihn um die Platte **B** dreht, so erblickt man in den Azimuthen 0°, 90°, 180° und 270° seiner Umdrehung dasselbe System von Ringen; in den Zwischenazimuthen 45°, 135°, 225° und 315° erblickt man dagegen ein anderes System (Fig. 99), dessen sämmtliche Farben die complementären zu den

Farben (Fig. 98) sind, und mit denen der Ringe zusammenfallen, die man beim Durchgange des Lichtes durch das Luftplättchen erhält. Beide Systeme über einander gelegt würden weißes Licht wiedergeben.

Stellt man an die Stelle der Glasplatte **B** einen Kalkspathrhombus, welcher seine beiden Bilder weit auseinander wirft, also einen sehr dicken Rhombus, so erblickt man das erste Ringsystem in dem gewöhnlichen und das zweite in dem ungewöhnlichen Bilde, sobald die Hauptschnittfläche des Prisma oder Rhombus sich nach der oben angegebenen Weise in der Ebene **rso** befindet.

Da das Licht, welches das erste Ringsystem bildet, in der entgegengesetzten Ebene von dem polarisirt ist, welches das zweite System bildet, so kann man das eine durch Agat zerstreuen oder durch Turmalin absorbiren und dadurch das andere sichtbar machen, wobei denn nach der verschiedenen Lage des Agats oder Turmalins das erste oder zweite System zerstreut oder absorbirt wird.

Theilt man den Kalkspathrhombus (Fig. 97) durch den Schnitt **MN** in zwei Theile und untersucht dann die Ringe, die von jedem einzelnen hervorgebracht werden, so findet man ihre Durchmesser größer als bei den von dem ganzen Rhombus erzeugten Ringen, und die Ringe nehmen an Größe zu, sowie die Dicke der Platte sich verkleinert. Die Kreisfläche eines Ringes verhält sich zu der eines andern, wie die zur Farbe des ersten Ringes gehörige Zahl der Newtonschen Tabelle zu der zur Farbe des zweiten gehörigen Zahl.

Wendet man gleichartiges Licht an, so sind die Ringe im Roth am kleinsten, im Violet am größten; in den Mittelfarben liegt ihre Größe zwischen jenen beiden Grenzen; sie haben immer die Farbe des angewandten Lichtes und sind durch schwarze Ringe getrennt. Im weißen Lichte combiniren sich die von den sieben Farben gebildeten Ringe und geben das System, das wir so eben nach den im elften Capitel erläuterten Grundsätzen beschrieben haben.

§. 116.

Alle übrigen Krystalle mit einer Axe doppelter Brechung geben ein ähnliches Ringsystem längs dieser Axe; allein die von positiven Krystallen erzeugten Ringsysteme, z. B. vom Zirkon, vom Eise u. s. w., besitzen entgegengesetzte Eigenschaften von denen der negativen Krystalle, obgleich das Auge keinen Unterschied wahrnimmt. Combinirt man ein vom Zirkon oder Eise gebildetes Ringsystem mit einem vom

Doppelspathe gebildeten Ringsysteme gleichen Durchmessers, so vernichten sich die beiden Systeme, indem das eine positiv, das andere negativ ist, was nothwendig von den entgegengesetzten Arten der doppelten Brechung beider Krystalle herrührt. Combinirt man zwei Platten negativer Krystalle, z. B. Doppelspath und Beryll, so bilden diese ein Ringsystem, ähnlich dem von zwei Platten Doppelspath gebildeten, von denen die eine die angewandte Platte ist, die andere diejenige, welche Ringe von gleicher Größe mit der Beryllplatte gibt. Combinirt man dagegen eine Platte eines negativen Krystalls mit einer Platte eines positiven, etwa Doppelspath mit Zirkon oder Eis, so wird das daraus resultirende Ringsystem nicht die Summe, sondern die Differenz der einzelnen Wirkungen, d. h. es ist dasselbe mit einem Systeme, welches hervorgebracht wird durch die Verbindung einer Doppelspathplatte, deren Dicke gleich der Differenz der angewandten Doppelspathplatte und einer andern ist, die Ringe von derselben Größe gibt, wie z. B. Zirkon oder Eis.

Dieser Versuch der Combinirung der Ringe ist nicht leicht auszuführen, wenn man nicht Krystalle anwendet, deren Außenflächen auf der Axe der doppelten Brechung senkrecht stehen, wie die Varietät vom Doppelspathe, die *basischer Kalkspath* heißt, einige Sorten von Glimmer mit einer einzigen Axe, und gut krystallisirte Stücke Eis. Da ich kein Paar dieser Platten erhalten konnte, so ließ ich die Axen der beiden Platten zusammenfallen; bringt man auf ihren Rand zwei oder drei Stückchen weißen Wachs, und drückt sie dann nach verschiedenen Richtungen, so kann man die beiden Ringsysteme genau genug zusammenfallen lassen, um die vorhin genannten Resultate zu erhalten.

Stellt man, nachdem man zwei Ringsysteme, entweder beide positiv oder beide negativ, oder ein negatives und ein positives, auf solche Weise combinirt hat, zwischen die Platten, welche die Ringe erzeugen, krystallisirter Schichten schwefelsauren Kalks oder Glimmer, so gehen in der Gestalt und Farbe der Ringe die schönsten Aenderungen vor. Vorzüglich schön fand ich diesen Versuch, als ich die Schicht zwischen zwei Platten basischen Doppelspaths brachte, die gleiche Dicke hatten und von demselben Krystalle genommen waren. Ich befestigte sie mit ihrer parallelen Fläche und ließ zwischen beiden einen hinlänglich großen Raum, um die Krystallschichten dazwischen bringen zu können, und hatte so einen Apparat, der die schönsten Phänomene hervorbrachte;

die Ringe waren nicht mehr symmetrisch um die Axe gelagert, sondern sie änderten ihre Form während der Umdrehung der combinirten Platten auf die schönste Weise, was sich leicht aus den allgemeinen Gesetzen der doppelten Brechung und der Polarisation ableiten läßt.

Die Tabelle der negativen Krystalle gibt die Körper an, welche ein negatives Ringsystem, und die der positiven Krystalle die Körper, welche ein positives Ringsystem erzeugen.

§. 117.

Nachstehende Methode wandte ich an, um zu entscheiden, ob ein Ringsystem ein positives oder negatives war. Auf einer Schicht schwefelsauren Kalks **CDEF** (Fig. 97) bemerkte man mit der größten Sorgfalt die neutralen Axen **CD** und **EF**. Man befestige diese Schicht mit etwas Wachs auf der Fläche **LD** oder **FG** eines Rhombus, welcher ein negatives Ringsystem gibt. Wenn die Schicht keine andere Farbe hervorbringt als das Roth zweiter Ordnung, nachdem sie mit dem Rhombus verbunden ist, so löscht sie einen Theil des rothen Ringes zweiter Ordnung aus, entweder in den beiden Kreisquadranten **AC** und **BD** (Fig. 98), oder in den beiden andern Quadranten **AD** und **BC**. Wir wollen annehmen, sie lösche das Roth in **AC** und **BD** aus; geht die Linie **CD** dec Schicht durch die beiden Quadranten des Kreises senkrecht auf die Ringe, so ist sie die Hauptaxe des schwefelsauren Kalks; geht sie dagegen durch die beiden andern Quadranten des Kreises, so ist die Linie **EF**, welche durch die Quadranten **AC** und **BD** geht, die Hauptaxe des schwefelsauren Kalks, und muß als solche bezeichnet werden. Wir wollen annehmen, **CD** sei die Hauptaxe. Will man dann wissen, ob ein anderes Ringsystem positiv oder negativ ist, so braucht man nur die Axe **CD** durch die Ringe hindurchgehen zu lassen, indem man die Schicht zwischensetzt; löscht sie dann den rothen Ring zweiter Ordnung in den Quadranten aus, durch welche sie geht, so ist das System negativ; löscht sie dagegen denselben Ring in den beiden Quadranten aus, welche sie nicht durchschneidet, so ist das System positiv. Es ist von geringem Belange, die von der Schicht polarisirte Farbe zu kennen, denn sie löscht in dem zu untersuchenden Ringsysteme immer die ähnliche Farbe aus.

§. 118.

Um die Bildung der um die Axe der Krystalle gesehenen Ringe zu erklären, hat man die beiden Ursachen in's Auge zu fassen, von de-

nen sie abhängen, nämlich die Dicke des Krystalls, durch welchen das polarisirte Licht hindurchgeht, und die Neigung dieses Lichtes gegen die Axe der doppelten Brechung oder der Ringe. Wir haben schon oben angeführt, daß die Farbe oder die Färbung sich nach der Dicke des krystallisirten Körpers richtet, und daß man aus der bekannten Farbe einer Dicke die aller übrigen ableiten kann, wenn die Neigung des Strahls gegen die Axe immer dieselbe bleibt. Man hat es daher nur mit dem Einflusse der Neigung gegen die Axe zu thun. Offenbar gibt es längs der Axe des Krystalls, wo die beiden schwarzen Linien AB und CD (Fig. 98) sich schneiden, weder Farben noch doppelte Brechung. Hat der polarisirte Strahl eine schwache Neigung gegen die Axe, so erblickt man eine schwache Färbung, wie das Blau erster Ordnung der Newtonschen Tabelle; so wie die Neigung sich vergrößert, entwickeln sich allmählich die Farben der Newtonschen Tabelle vom Schwarz erster Ordnung bis zum Röthlich-Weiß der siebenten. Hieraus scheint hervorzugehen, daß die Vergrößerung der Neigung des polarisirten Lichtes gegen die Axe einer Vergrößerung der Dicke entspricht, so daß wenn die Dicke immer dieselbe bliebe, die Differenz der Neigung allein die verschiedenen Farben der Tabelle erzeugen würde.

Man hat durch Versuche gefunden, daß bei gleicher Dicke des Minerals der numerische Werth der Färbungen oder die diesen entsprechenden Zahlen der dritten Colonne der Newtonschen Tabelle sich mit dem Quadrate des Sinus der Neigung des polarisirten Lichts gegen die Axe verändert. Hieraus folgt, daß dieselbe Färbung bei gleichen Neigungswinkeln hervorgebracht wird; folglich liegen ähnliche Färbungen in gleichem Abstande von der Ringaxe, oder die Linien gleicher Färbung sind Kreise, deren Mittelpunkte in der Axe liegen. Gesetzt, z. B. man erblickte bei einer Neigung von 30° gegen die Axe das Blau zweiter Ordnung, dessen numerischen Werth nach der Newtonschen Tabelle 9 ist, und man wollte die Färbung wissen, die eine Neigung von 45° erzeugt; der Sinus von 30° ist 0,500, sein Quadrat 0,2500; der Sinus von 45° ist 0,7071 und sein Quadrat 0,5000; man schließt also: wie sich 0,2500 zu 9 verhält, so verhält sich 0,5000 zu 18, und diese Zahl ist in der Tabelle der numerische Werth des Roth dritter Ordnung. Vergrößert sich die Dicke des Minerals von 30° und 45°, so würde sich der numerische Werth der Färbung in gleichem Verhältnisse vermehren.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß die Polarisationskraft oder die ringerzeugende Kraft zugleich mit der doppelten Brechung verschwindet und sich nach demselben Gesetze mit ihr vergrößert und verkleinert. Die Polarisationskraft ist daher abhängig von der Kraft der doppelten Brechung; deßhalb haben Krystalle von starker doppelter Brechung dieselbe Farbe bei viel geringerer Dicke oder bei schwächeren Neigungen der Axe. Die beste Methode zur Vergleichung der Polarisationsintensitäten verschiedener Krystalle besteht in der Vergleichung der Farben, welche eine gegebene Dicke jedes Krystalls senkrecht zur Axe, wo die Kraft der doppelten Brechung und der Polarisirung in ihrem Maximum ist, hervorbringt. In obigem Beispiele findet man die Färbung senkrecht auf die Axe, indem man das Quadrat des Sinus von 90° also 1, nimmt, und dann schließt: 0,2500 verhält sich zu 9 wie 1 zu 36; die letztere Zahl ist das Maximum von Färbung des Kalkspaths senkrecht auf die Axe, unter der Voraussetzung, daß die Färbung bei einer Neigung von 30° den Werth 9 habe. Hat man die zur Färbung 9 gehörige Dicke des Doppelspaths gemessen, so läßt sich die Polarisationsintensität desselben mit der jedes andern Minerals vergleichen. Hätte man z. B. eine Quarzplatte, welche bei einer Neigung von 30° und bei einer 51 Mal größern Dicke als die der Doppelspathplatte, das Gelb vierter Ordnung erzeugt, dessen numerischer Werth sehr nahe 4 ist, so findet man seine Färbung bei 90° oder senkrecht auf die Axe, wenn man schließt: wie sich das Quadrat des Sinus von 30° oder 0,2500 zu 4, so verhält sich das Quadrat des Sinus von 90° oder 1 zu 16, welches die Färbung bei 90°, also Grün dritter Ordnung ist. Es würde sich daher die Polarisationskraft oder Intensität des Doppelspaths zu der des Quarzes wie 36 zu 16 verhalten, folglich $2\frac{1}{4}$ Mal größer sein, wenn die Dicke der beiden Krystalle dieselbe gewesen wäre; da aber der Quarz 51 Mal dikker war als der Doppelspath, so ist die Polarisationsintensität des letztern 51 multiplicirt mit $2\frac{1}{4}$, also 115 Mal größer als die des Quarzes. Die Intensitäten verschiedener Krystalle sind von mehrern Physikern bestimmt worden; Herschel gibt die folgenden an:

Polarisationsintensitäten einiger Krystalle mit einer einzigen Axe.

Krystalle.	Werth der höchsten Färbung.	Dicken, welche diese Färbung erzeugen, in Zolltheilen.
Doppelspath	35801	0,000028
Strontianhydrat	1246	0,000802
Turmalin	851	0,001175
Unterschwefelsaurer Kalk	470	0,002129
Quarz	312	0,003024
Apophyllit, erste Variation	109	0,009150
Kampfer	101	0,009856
Vesuvian	41	0,024170
Apophyllit, zweite Variation	33	0,030374
Apophyllit, dritte Variation	3	0,366620

Die vorstehenden Maße beziehen sich auf das gelbe Licht, und die Zahlen in der zweiten Colonne geben die Dicken der verschiedenen Substanzen an, welche dieselbe Färbung erzeugen. Die Polarisationskraft des Doppelspaths ist so groß, daß es beinahe unmöglich ist, eine so dünne Schicht zu erhalten, daß sie die Farben der Newtonschen Tabelle gibt.

Ende des ersten Bandes.

Bücher=Anzeigen.

In der Basseschen Buchhandlung in Quedlinburg, sowie in allen übrigen Buchhandlungen Deutschlands sind folgende neue Schriften zu bekommen:

Arnold: Die neuern Erfindungen und Verbesserungen in Betreff der

optischen Instrumente,

als der verschiedenen Arten optischer und periskopischer Gläser, der Perspective, Teleskope, Mikroskope, Taschen= und Doppelmikroskope, Reflectoren, Camera lucida, Zauberlaternen, Operngucker, Lorgnetten, Brillen ꝛc.; Verbesserungen im Schneiden der Krystallgläser, im Drehen, Schleifen und Poliren der Linsen, sowie Belehrungen über das Sehen; über die Mittel, den wahren Zustand der Augen zu bestimmen, und jedes Individuum in den Stand zu setzen, sich die für seine Augen passenden Brillen selbst zu wählen; Beschreibung eines Instrumentes (Optometers), um die Kurz= oder Weitsichtigkeit der Augen zu messen; neue Analyse des Sonnenlichtes; ꝛc. Für Jeden, der optische Instrumente gebraucht, sowie insbesondere für Astronomen, Naturforscher, Verfertiger optischer Instrumente und alle Diejenigen, welche Handel mit denselben treiben. Mit 4 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 1 Thlr. 12 gGr.

R. Nicholson's Anweisung zur Kenntniß, Prüfung, Anwendung und Verfertigung aller Arten

Thermometer, Barometer,

Hygrometer, Pyrometer, Aräometer, Hydrometer u. dergl. m. nach den neuesten Erfindungen und Verbesserungen. Nebst Belehrungen über die specifische Schwere und vergleichenden Tabellen der verschiedenen Skalen von Réaumur, Celsius, Fahrenheit, Baumé und Andern. Eine nützliche Schrift für jeden Physiker, Chemiker, Pharmazeuten, Laboranten, Destillateur, Branntweinbrenner ꝛc., sowie für alle Diejenigen, welche sich mit der Verfertigung von dergleichen Instrumenten beschäftigen oder solche erlernen wollen. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 106 Abbildungen. gr. 8. Preis 1 Thlr. 8 gGr.

T. P. Danger:

Die Kunst der Glasbläserei

vor dem Löthrohre und an der Lampe. Oder Darstellung eines neuen Verfahrens, um alle physikalischen und chemischen Instrumente, welche in den Bereich dieser Kunst gehören, als Barometer, Thermometer, Aräometer, Heber u. s. w. mit dem geringsten Kosten=Aufwande und auf die leichteste Art zu verfertigen. Aus dem Französischen übersetzt. Mit 4 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 20 gGr.

J. A. L. Richter's Handbuch der

populären Astronomie

für die gebildeten Stände, insbesondere für denkende, wenn auch der Mathematik nur wenig oder gar nicht kundige Leser. 2 Theile. Mit 1 Atlas Abbildungen und 3 Tabellen. 8. Preis 6 Thlr. 20 gGr.

Die Astronomie ist die Krone der Naturwissenschaften; sie enthält das geistige Element in einem solchen Grade, daß sie darin fast alle andere Wissenschaften übertrifft und unmittelbar dahin wirkt, die höchsten Ideen des Wahren, Schönen und Guten in der Seele hervorzurufen. Darum spricht sie denn auch Jeden an, dessen inneres Selbst noch nicht ganz verkrüppelt ist; ja, das bloße Anschaun des gestirnten Himmels erweckt schon in der Seele, auch des Ununterrichtetsten, eine Menge von Vorstellungen und Empfindungen, die ihn erheben und läutern und mit Ahnungen des Unsichtbaren erfüllen. Ist es doch, als ob eine geheime Zaubermacht den Menschen zu jenen glänzenden Gestirnen hinzöge, wenn er sie in ruhigem Schweigen ihre Bahnen dahin wandeln sieht, als ob nicht hier, sondern dort die wahre Heimath seines Geistes wäre, als ob er Flügel bekommen müsse, um sich aufzuschwingen, wo Orion sich gürtet und der Schwan seine Silberfittige entfaltet. Daher wird denn Kenntniß der Sternwissenschaft auch im großen Publikum als ein allgemeines Bedürfniß gefühlt. Der Verfasser hat sich die Aufgabe gestellt, auch den Laien in der Mathematik dahin zu bringen, daß er die Hauptlehren der Astronomie nicht nur historisch erfasse, sondern sie auch nach ihren Gründen verstehe, und ihn in den Stand zu setzen, daß er mit Ueberzeugung einsehe, wie es dem Denker möglich sei, in die Tiefen des Himmels einzudringen. Zu dem Ende hat der Verfasser bei seinem Vortrage zuvörderst bloß auf Elementarmathematik Rücksicht genommen, ohne den höhern Kalkul zu Hilfe zu nehmen. — Wir dürfen dieses Werk, das den Namen eines als Gelehrten und Schriftsteller allgemein geachteten Mannes an der Stirn trägt, nicht noch besonders lobend empfehlen wollen.

Der Rec. im »Literaturblatte« von Menzel rühmt den Vortrag überall gründlich und deutlich und wenn auch kein in der Geometrie ganz Unbewanderter in den Tempel der Urania treten darf, so bezeugen wir dem Verf. gern, daß er alles gethan hat, seinen Lesern die mathematische Mühe zu erleichtern. Nach Mittheilung verschiedener interessanter Ansichten aus dem Werke selbst schließt der Rec. mit den Worten: »Man wird es dem Verf. Dank für die Erleichterung eines wissenschaftlichen Vortrages durch so angenehme Bilder wissen, und Ref. verläßt das Werk mit bereitwilliger Anerkennung dieses seltenen Verdienstes.« Menzel's Literaturbl. 1834 Nro. 45.

M. G. Pontécoulant's analytische

Theorie des Weltsystems.

Aus dem Französischen von Dr. *J. G. Hartmann.* Zwei Bände. gr. 8. Preis 3 Thlr. 8 gr.

Die vorzüglichsten neuern Entdeckungen in der Theorie des Weltsystems verdanken wir *Laplace* und *Lagrange*. *Laplace* hat sie in seiner Mechanik des Himmels detaillirt dargestellt, und dies Werk ist das schönste und vollständigste, das wir über physische Astronomie besitzen. Indessen gestatten es die grofsen Fortschritte der Analysis seit den letzten zwanzig Jahren, die in diesem Werke vorhandenen Hauptschwierigkeiten, welche das Studium desselben so mühsam machen, fortzuschaffen. Die Theorie des Weltsystems läfst sich jetzt mit einer Klarheit und in einem Zusammenhange darstellen, wodurch ein Gesammtüberblick aller ihrer Theile möglich wird. Die angewandten Methoden haben die glücklichen Verbesserungen erlitten, die Zeit und Erfahrung immer den Werken der Mathematiker zuführen: sie sind in ihrer Verallgemeinerung einfacher geworden. Herr *Pontécoulant* hat in dem gegenwärtigen Werke die Resultate so vieler nützlicher Arbeiten zusammengefafst; er hat die Theorien so vollständig entwickelt, dafs alle Dunkelheiten verschwinden, und die beigefügten numerischen Beispiele erleichtern deren Anwendung. Hat eine Wissenschaft, erschöpft durch die Anstrengung der gewaltigsten Geister, den Grad von Vollendung erreicht, dafs die Grenzen der menschlichen Erkenntnifs sie nicht mehr weiter zu führen vermögen, dann bleibt nur ein Mittel zur Beschleunigung ihrer Fortschritte übrig, nämlich ihre Eingänge mehr zugänglich zu machen, für die bisher angewendeten complicirten Methoden einfachere einzuführen, und immer daran zu denken, dafs in den Werken der Menschen, wie in denen der Natur, die Einfachheit ein Attribut der Vollkommenheit ist.

(Wohlfeile Ausgabe.)

Lehrbuch der Chemie

von *J. J. Berzelius.*

In gedrängter Form. Bearbeitet und mit den nöthigen Nachträgen versehen von *Fr. Schwarze.* 4 Bände (in grofs Octav, mit Abbildungen), welche in 8 Heften, jedes zu 18 Ggr., ausgegeben werden. Das Ganze kostet folglich *nur* 6 Thlr.

Das dritte Heft ist so eben erschienen und liegt in allen Buchhandlungen zur Ansicht bereit.

Kunstbuch

zum Nutzen und Vergnügen für die erwachsenere Jugend.

Enthaltend Anweisungen, alle Arten von Kunst-, Lust- und Wasserfeuerwerken selbst zu verfertigen; kleine Luftballons zu machen und steigen zu lassen; Thiere, besonders Vögel auszustopfen; Figuren, Früchte und andere Gegenstände in Wachs zu bossiren; Schaumünzen abzugießen; Vögel zu fangen und abzurichten; Kupferstiche, Gemälde und Zeichnungen, ohne selbst Künstler zu sein, zu copiren; sie auf Gips, Holz und Glas abzuziehen, zu malen, zu vergolden und zu versilbern; Silhouetten zu machen; Pflanzen wie in Kupfer gestochen, abzudruk-

ken; Büsten, Bilder und andere erhabene Figuren, als Thiere, Vögel u. s. w., aus Gips, Holz, Metall und Papiermaché künstlich zu formen; Schmetterlinge und Käfer zu fangen, zu spannen und zu sammeln; nebst vielen andern wissenswerthen und nützlichen Belehrungen. Mit 2 Kupfertafeln. 8. geh. Preis 1 Thlr. 8 Ggr.

Beschreibung und Abbildung der in letzter Zeit neuerfundenen und verbesserten

Luftpumpen.

Herausgegeben von Anton Müller. Mit 2 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 12 Ggr.

Beschreibung und Abbildung der neuesten, verbesserten

Wasser- und Luftpumpen

und Preßmaschinen, besonders hydraulischer Pressen, so wie von Werkzeugen und Instrumenten zur Anlegung und Erhaltung der Brunnen. Nach den neuesten und zweckmäßigsten englischen, französischen und deutschen Erfindungen. Von Eman. Klinghorn. Mit 87 Abbildungen. 8. Preis 16 Ggr.

Die Fabrikation des Glases

nach den neuesten Erfindungen und Verbesserungen. Von Bowles. Nach dem Englischen bearbeitet. Mit Abbildungen. 8. Preis 20 Ggr.

Praktisches Handbuch

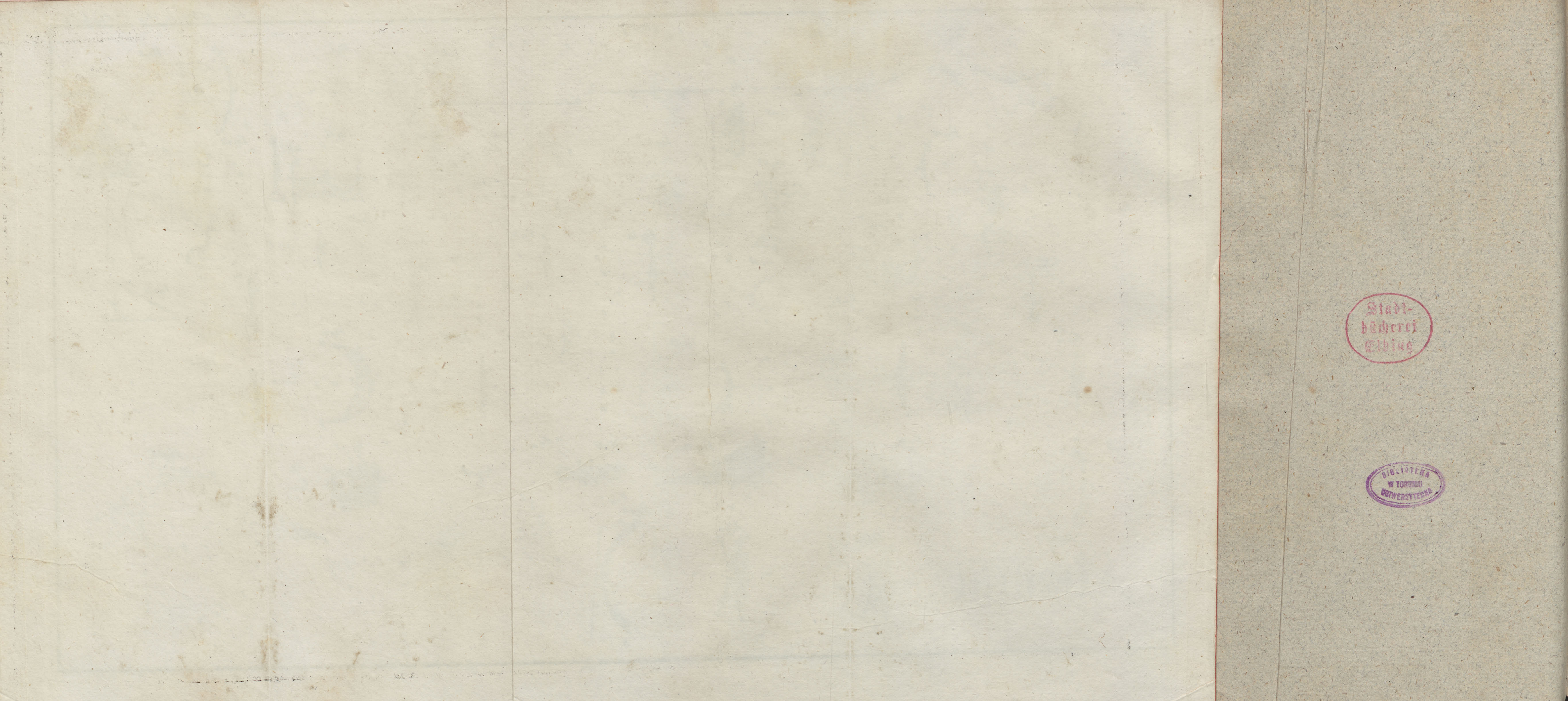
der Mechanik,

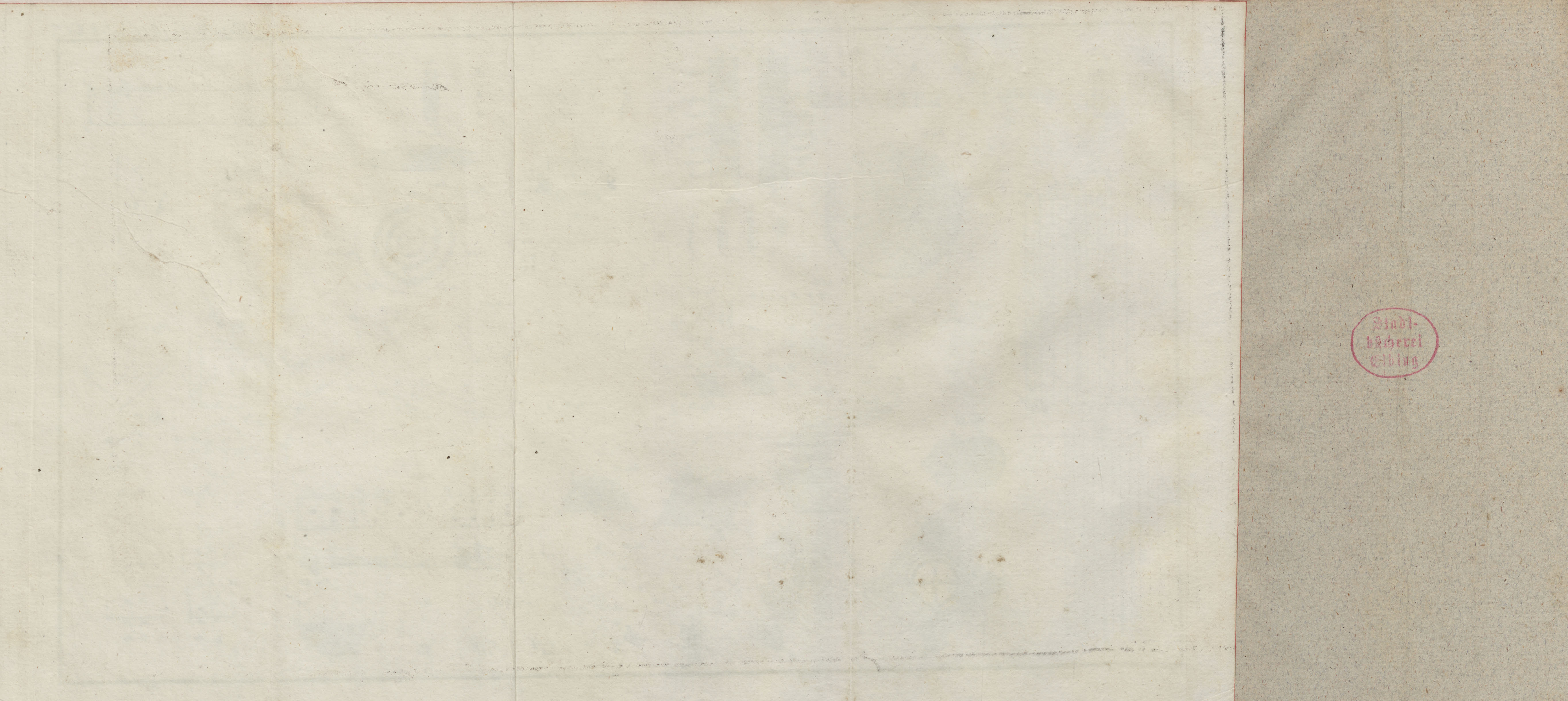
für Künstler, Fabrikanten und Handwerker, insbesondere für Mühlen- und Maschinenbauer, Uhrmacher, Gold- und Silberarbeiter, Eisen- und Stahlarbeiter, Schlosser, Messerschmiede, Maurer, Zimmerleute, Wagenmacher, Stellmacher, Tischler, Drechsler, Schmiede, Blankschmiede, Kupferschmiede, Klempner, Zinn- und Schriftgießer, Gelb- und Rothgießer, Gürtler, Feilenhauer, Schwertfeger, Schleifer, Polirer, Ziegelbrenner, Fuhrleute u. m. a. Nach der zwölften englischen Original-Ausgabe übesetzt. 2 Theile. Mit 17 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 2 Thlr. 12 Ggr.

Poller's Kunst, alle Arten von Zeichnungen, als Blumen, Thiere, Landschaften, Portraits u. s. w., in

Glas zu ätzen.

Eine Erfindung der neuesten Zeit. Für Zeichner, Silhouettirer &c. Mit einer lithographirten Tafel, die Abbildungen der dazu nöthigen Geräthschaften enthaltend. 8. geh. Preis 10 Ggr.


Stadt-
bücherei
Elbing
BIBLIOTEKA
W TORUNIU
UNIWERSYTECKA



Populäres, vollständiges Handbuch

der

Optik.

Von

Dr. Brewster,

Mitgliede der königl. Societät, correspondirendem Mitgliede der Akademie der Wissenschaften zu Paris, Ehrenmitgliede der Akademien zu Petersburg, Stockholm, Göttingen, Copenhagen u. s. w.

In's Deutsche übersetzt

von

Dr. J. Hartmann.

Zweiter Band.

Mit 2 Tafeln Abbildungen.

Quedlinburg und Leipzig.

Druck und Verlag von Gottfr. Basse.

1835.


Stadt-
bücherei
Elbing

Inhalt
des zweiten und letzten Bandes.

Dritter Abschnitt.

Anwendung der optischen Principe auf die Erklärung der Naturerscheinungen.

Vierter Abschnitt.

Optische Instrumente.

Erster Anhang.

Zweiter Anhang.

Dreiundzwanzigstes Capitel.

System farbiger Ringe in den Krystallen mit zwei Axen.

§. 119.

Man war lange Zeit der Meinung, daß sämmtliche Krystalle nur eine einzige Axe doppelter Brechung hätten; allein nachdem in dem Topas und in andern Mineralien ein doppeltes System von Ringen entdeckt worden war, fand ich, daß diese Mineralien zwei Axen der doppelten Brechung und der Polarisation besitzen, und daß das Vorhandensein zweier Axen eine große Anzahl künstlicher oder natürlicher Krystalle charakterisirt.

Das doppelte Ringsystem oder vielmehr eins von den Stücken des doppelten Ringsystems zeigte sich mir im Topas, während ich längs der Axe eines Topases durchsah, der einen Theil des Tageslichtes reflectirte, welches sich dergestalt polarisirt fand, daß man es ohne Hilfe einer Zerlegungs- oder Polarisationsplatte erblickte. In diesen und in vielen andern Mineralien sind jedoch die Axen der doppelten Brechung so gegen einander geneigt, daß man die beiden Ringsysteme nicht zu gleicher Zeit sehen kann. Ich will sie deßhalb am Salpeter beschreiben, in welchem ich sie gleichfalls entdeckte, und welcher mir zur Untersuchung mehrer ihrer Eigenschaften diente.

Der Salpeter ist eine künstliche Substanz, die in Prismen mit sechs Kanten und unter Winkeln von 120° krystallisirt. Er gehört dem prismatischen Systeme von Mohs an, und hat folglich zwei Axen doppelter Brechung, längs welcher der Lichtbüschel ungetheilt durchgeht. Jede der Axen ist um $2\frac{1}{2}$° gegen die Axe des Prisma geneigt; ihre gegenseitige Neigung beträgt ungefähr 50°. Schneidet man ein Stück Salpeter mit einem Messer, worauf man mit einem Hammer schlägt, polirt man zwei ebene auf die Axe des Prisma senkrechte Flächen dergestalt, daß man ihm eine Dicke von $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{8}$ Zoll gibt, und läßt

dann den polarisirten Lichtstrahl **rs** (Fig. 94) längs der Axe des Prisma durchgehen, indem man den Krystall auf der einen Seite so nahe als möglich an die Platte **B** und auf der andern so nahe als möglich an's Auge bringt, so erblickt man das doppelte Ringsystem **AB** (Fig. 100), wenn die durch die Axen des Salpeters gehende Ebene in der ursprünglichen Polarisationsebene oder in der Reflexionsebene **rsE** (Fig. 94) liegt, und das Ringsystem (Fig. 101), wenn dieselbe Ebene gegen eine der beiden letztern Ebenen um 45° geneigt ist. Beim Uebergange von Fig. 100 zu Fig. 101 nehmen die schwarzen Linien die Gestalt der Fig. 102 und 103 an.

Die Ringsysteme haben im Allgemeinen dieselben Farben, welche dünne Plättchen oder die Ringsysteme um eine einzige Axe haben. Die Farben fangen in den Mittelpunkten **A** und **B** jedes Systems an; in einer gewissen Entfernung aber, welche in Fig. 100 dem sechsten Ringe entspricht, liegen die Ringe, statt zurückzukehren und die Pole **A** und **B** zu umkreisen, um diese Pole, wie eine Ellipse um ihre Brennpunkte.

Eine Verminderung der Dicke der Salpeterplatte vergrößert die Ringe und der fünfte Ring umgibt die beiden Pole. Bei einer noch geringern Dicke umkreiset sie die vierte und sofort, bis endlich die Ringe sämmtlich die beiden Pole umgeben, und das System einem um eine einzige Axe liegenden Systeme sehr ähnlich sieht. Der Ort der beiden Pole **A** und **B** ändert sich niemals; die schwarzen Linien **AB** und **CD** dagegen werden breit und unbestimmt, bis sich endlich das ganze System von einem einfachen Systeme vorzüglich nur durch das ovale Ansehen der Ringe unterscheidet.

Macht man die Salpeterplatte dicker, so verkleinern sich die Ringe, ihre Farben verlieren die Aehnlichkeit mit denen der Newtonschen Tabelle und fangen nicht mehr in den Polen **A** und **B** an, sondern in virtuellen Polen neben jenen. Zwischen den Polen ist die Farbe der Ringe roth, außerhalb blau; die große Masse der Ringe ist rosenroth und grün.

Da in jedem Theile derselben krummen Linie dieselbe Farbe vorhanden ist, so hat man diesen Linien den Namen der isochromatischen (gleichfarbigen) gegeben.

Die Linien oder Axen, längs welcher es keine doppelte Brechung oder Polarisation gibt und deren Pole **A** und **B** (Fig. 100) sind, hei-

ßen optische Axen, Axen der Nichtpolarisation, Axen der Compensation oder resultirende Axen, weil sie nicht wirklich Axen, sondern nur Linien sind, längs welcher die entgegengesetzten Wirkungen der beiden Axen sich verbinden oder vernichten.

§. 120.

In mehren krystallisirten Körpern, z. B. im Salpeter und Arragonit, wo die Neigung der resultirenden Axen A und B (Fig. 100) klein ist, kann man die beiden Ringsysteme zu gleicher Zeit wahrnehmen; ist dagegen die Neigung der Axen groß, wie z. B. im Topas, im schwefelsauren Eisen u. s. w., so läßt sich nur eins dieser Systeme wahrnehmen, und man erblickt dieses sehr gut, wenn man eine Platte abbricht und zwei auf die Axe der Ringe senkrechte Flächen polirt. Im Glimmer und im Topas, so wie in mehren andern Mineralien ist die Hauptspaltungsfläche gegen die beiden resultirenden Axen gleichmäßig geneigt, so daß man in diesen Körpern die beiden Ringsysteme leicht finden und zeigen kann.

Es sei z. B. MN (Fig. 104) eine Topasplatte so gespalten, daß ihre Fläche senkrecht auf die Axe des Prisma ist, in welchem dieser Körper krystallisirt. Bringt man die Platte dergestalt in den Apparat (Fig. 94), daß der Lichtstrahl rs (Fig. 104) durchgeht, und fängt das Auge den von der Zerlegungsplatte B reflektirten Strahl auf, so sieht man in der Richtung dieses Strahls ein System ovaler Ringe wie (Fig. 105). Eben so erblickt man, wenn das polarisirte Licht längs der Linie CBdD durchgelassen wird, ein anderes dem erstern vollkommen ähnliches System.

Die Linien CBdD und ABeE sind folglich die resultirenden Axen des Topases. Der Winkel ABC beträgt nahe 121° 16′; der Neigungswinkel der gebrochenen Strahlen Bd und Be dagegen, also der Winkel ABC oder dBe beträgt nur 65°, welches folglich die Neigung der optischen oder resultirenden Axen des Topases ist.

Denkt man sich die Salpeterplatte in einer der Lagen befestigt, welche die Ringe (Fig. 100, 101, 102 oder 103) geben, und dreht man dann die Platte B, so sieht man in den Azimuthen von 90° und 270° Ringsysteme, die sich einander ergänzen, worin das schwarze Kreuz (Fig. 100) und die schwarzen hyperbolischen Linien (Fig. 101 und 103) weiß, und alle übrigen Theile dunkel, das Roth grün, das

Grün roth u. s. w. sind, wie in einem Ringsystem mit einer einzigen Axe.

In den vorstehenden Beobachtungen wurde angenommen, daß die Polarisation des einfallenden Lichts zur Erzeugung der Ringe nothwendig sei; in gewissen Fällen lassen sie sich jedoch durch das gewöhnliche Licht mit Hilfe von Zerlegungsplatten, oder durch das polarisirte Licht ohne Zerlegungsplatte hervorbringen, mitunter sogar ohne daß das Licht zerlegt oder polarisirt ist. Fällt z. B. auf den Topas (Fig. 104) gemeines Licht in der Richtung AB so auf, daß es längs einer der resultirenden Axen Be gebrochen, in e von der Hinterfläche reflektirt wird, und in c in's Auge gelangt, so sieht man nach seiner Reflexion von der Zerlegungsplatte das Ringsystem (Fig. 105); ist der Lichtbüschel AB polarisirt, so erblickt man in c diese Ringe ohne Zerlegungsplatte. Mehrere andere merkwürdige Phänomene dieser Art habe ich in den **Philosophical Transactions** vom Jahre 1814 S. 203 und 211 mitgetheilt.

Ich habe mehrere Salpeterkrystalle gefunden, welche Ringe ohne polarisirtes Licht und ohne Zerlegungsplatte gaben. Auch fand Herschel diese Eigenschaft an einigen Krystallen von kohlensaurer Pottasche.

§. 121.

Stellt man diese Versuche statt mit weißem Lichte mit geichartigem polarisirten Lichte an, so sind die Ringe lebhafte krumme Linien, getrennt durch dunkle Zwischenräume, und haben immer einerlei Farbe mit dem angewandten Lichte. Bei mehreren Krystallen ist der Unterschied in der Größe der Ringe, die man bei verschiedenen Farben erblickt, nicht sehr bedeutend, und die Pole A und B ändern ihren Platz nur wenig. Herschel fand jedoch Krystall, z. B. Soda und weinsteinsaure Pottasche, bei welchen die Aenderung in der Größe der Ringe sehr bedeutend war; die größten Ringe erhielt er im Roth, die kleinsten im Violet; der Abstand AB (Fig 100 und 101) oder die Neigung der resultirenden Axen änderte sich von 56° für das Violett bis zu 76° für das Roth, und hatte für die Zwischenfarben mittlere Werthe; die Mittelpunkte der verschiedenen Systeme lagen in der Linie AB. Werden alle diese Ringsysteme mit einander verbunden, wie in weißem Lichte, so wird das erhaltene System irregulär, indem die beiden ovalen Mittelpunkte oder die Hälften der Farben erster Ordnung lange Spectra oder Schwänze bilden, bestehend aus Roth, Grün

und Violet und indem die Enden aller übrigen Ringe roth außerhalb der resultirenden Axen und blau innerhalb derselben sind.

Herschel fand andere Krystalle, bei denen die kleinsten Ringe sich im Roth, die größten im Violet fanden; die Neigung AB der beiden Axen hatte ihr Minimum im Roth und ihr Maximum im Violet.

In allen Krystallen dieser Art ist die Abweichnng der Farben der Ringe, die man im weißen Lichte der Newton'schen Tabelle sieht, sehr bedeutend und läßt sich nach den obigen Principien bestimmen. Ich fand, daß diese Abweichung selbst in Krystallen mit einer einzigen Axe doppelter Brechung und mit einem einzigen Ringsystem sehr bedeutend war, wie z. B. beim Apophyllit, wo die Ringe fast keine andere Farbe haben als eine Reihe von grünlichem Gelb und von röthlichem Violet. Herschel betrachtete diese Ringe in gleichartigem Lichte und fand das System in den Strahlen des einen Endes des Spectrums negativ, in denen des andern Endes positiv, und im gelben Lichte gar keine Ringe.

Eine ähnliche eben so merkwürdige Anomalie habe ich am Glauberit gefunden, einem Krystalle, welches zwei Axen doppelter Brechung oder zwei Ringsysteme für das rothe Licht, und ein negatives System für das Violet hat.

§. 122.

Das Sonderbare in diesen Phänomenen verschwindet und läßt sich genau bestimmen, wenn man annimmt, daß die resultirenden Axen in den doppeltaxigen Krystallen, oder die eine Axe in den einaxigen Krystallen mit einem von der Newton'schen Tabelle abweichenden Ringsysteme, bloß scheinbare oder Compensationsaxen sind, die durch die entgegengesetzte Wirkung zweier oder mehrerer senkrechter Axen hervorgebracht werden, von denen die Hauptaxe den Winkel der beiden resultirenden Axen halbirt. Mit Hülfe dieser Annahme lassen sich die Phänomene dieser Krystalle mit eben so viel Bestimmtheit ausrechnen, als die Bewegungen der Himmelskörper.

Das Verfahren wird aus Folgendem klar. Es sei ABCD (Fig. 106) ein doppeltaxiger Kugelkrystall; P, P, seien die Pole der Axen, O der sie halbirende Punkt, und AB eine durch O gehende Linie senkrecht auf die durch PP gezogene Linie CD. Gesetzt nun, es ginge eine auf die Ebene ABCD senkrechte Axe durch O, so lassen sich alle Phä-

nomene dieser Krystalle erklären, wenn man annimmt, daß die durch O gehende Axe die Hauptaxe ist und daß die andere Axe längs der Durchmesser AB und CD liegt. Liegt sie längs CD, so müssen die Axen O und CD beide entweder positiv oder negativ sein; liegt sie längs AB, so muß die eine positiv, die andere negativ sein. Wir wollen der Deutlichkeit halber annehmen, die beiden alle Phänomene erzeugenden senkrechten Axen AB und CD seien beide positiv oder negativ, indem wir die Axe O ganz fallen lassen. Es seien AOB und CPPD Projectionen größter Kugelkreise, so sind PP die Punkte, wo die Axe AB die Wirkung von CD vernichtet, d. h. wo die von jeder Axe erzeugten Farben gleich und entgegengesetzt sind. Nimmt man nun an, die Axe CP habe 60°, so erzeugt, weil AB 90° hat, CD bei 60° dieselbe Farbe als AB bei 90°; es verhält sich daher die Polarisationsintensität von CD zu der von AB wie das Quadrat des Sinus von 90° zu dem Quadrate des Sinus von 60°, oder wie 1 zu 0,75, oder wie 100 zu 75. Hat man auf diese Weise die Polarisationsstärke jeder Axe bestimmt, so findet sich leicht nach der oben mitgetheilten Methode die Farbe, welche jede Axe für sich bei einer gegebenen Neigung erzeugt.

Es sei E ein Punkt der Kugelfläche und die in diesem Punkte erzeugten Farben 9 oder Blau zweiter Ordnung für CD, und 16 oder Grün dritter Ordnung für AB. Gesetzt, die Neigung der durch AE und CE gelegten Ebenen oder der sphärische Winkel CEA sei bestimmt, so ist die Farbe im Punkte E gleich der Diagonale eines Parallelogramms, dessen Seiten 9 und 16 und dessen Winkel das Doppelte des Winkels CEA ist. Dieses Gesetz, welches allgemein gilt und sich auf die doppelte Brechung anwenden läßt, wurde von Biot und Fresnel bestätigt; der letztere hat zugleich gezeigt, daß es mit dem aus der Undulationstheorie abgeleiteten Gesetze vollkommen übereinstimmt.

Sind die Axen AB und CD gleich, so erzeugen sie dieselbe Farbe bei gleicher Neigung, d. h. sie compensiren sich in einem einzigen Punkte O und erzeugen um O dasselbe farbige Ringsystem, als wenn O ein Bogen doppelter Brechung wäre von entgegengesetzter Wirkung mit AB und CD. Hat die Axe AB dieselbe verhältnißmäßige Wirkung auf jeden der verschiedenfarbigen Strahlen, wie CD, so findet in O, dem Mittelpunkte der resultirenden Systeme, eine genaue Compensation

statt und die Farben sind genau die der Newton'schen Tabelle. Uebt aber jede Axe eine verschiedene verhältnißmäßige Wirkung auf die farbigen Strahlen aus, so findet für einige Strahlen, z. B. für Violett eine Compensation in O statt, während sie für Roth sich auf jeder Seite von O findet; der Krystall hat also in diesem Falle eine Axe für das Violett und zwei für das Roth, wie der Glauberit.

Das Phänomen des Apophyllits erklärt sich auf dieselbe Weise durch zwei gleiche negative Axen AB und CD, und eine positive O.

Aus dieser Verbindungsart der Wirkung verschiedener senkrechter Axen folgt, daß drei gleiche und rechtwinkliche Axen, die alle positiv oder alle negativ sind, sich gegenseitig in jedem Punkte der Kugel vernichten, und dieselbe Wirkung hervorbringen, als wenn der Krystall weder doppelte Brechung noch Polarisation hätte. Aus diesem Principe habe ich die Abwesenheit der doppelten Brechung in allen Krystallen des Tesseralsystems von Mohs erklärt, indem jede ihrer Grundformen drei rechtwinkliche ähnlich liegende Axen hat. Ist eine dieser Axen der andern nicht vollkommen gleich und die Krystallisation nicht durchaus gleichförmig, so nimmt man Spuren doppelter Brechung wahr, wie dies bei der kochsalzsauren Soda, beim Diamant und bei andern krystallisirten Körpern der Fall ist.

§. 123.

Nachstehende Tabelle enthält die Polarisationsintensitä einiger doppelaxiger Krystalle nach Herschel's Angaben

Polarisationsintensitäten einiger doppelaxiger Krystalle.

Krystalle	Neigung der Axen.	Höchste Färbung	Dicken, welche dieselbe Farbe erzeugen.
Salpeter		7400	0,000135 Zoll
Archydrit	43° 48′	1900	0,000526 „
Glimmer	45°	1307	0,000765 „
Schwefelsaurer Baryt		521	0,001920 „
Heulandit (weißer)	54° 17′	249	0,004021 „

Vierundzwanzigstes Capitel.

Interferenz des polarisirten Lichtes und Ursache der Farben der krystallisirten Körper.

§. 124.

Nachdem wir die Hauptphänomene der Farben der regelmäßig krystallisirten Körper mit einer oder zwei Axen doppelter Brechung be-

schrieben haben, gehen wir dazu fort, die Ursache dieser merkwürdigen Phänomene zu erläutern.

Young hat das große Verdienst, auf die Erklärung der durch doppelte Brechung erzeugten Farben zuerst die Lehre der Interferenz angewandt zu haben. Fällt ein Lichtbüschel auf eine dünne Platte eines doppelt brechenden Krystalls, so theilt er sich in zwei Büschel, die sich in der Platte mit verschiedenen den Brechungsverhältnissen des gewöhnlichen und ungewöhnlichen Strahls entsprechenden Geschwindigkeiten bewegen. Im Kalkspath bewegt sich der gewöhnliche Strahl rascher, als der ungewöhnliche; beide müssen sich daher interferiren und im weißen Lichte um die Axe der doppelten Brechung abwechselnd dunkle und helle Ringe erzeugen. Dies müßte jedoch, zufolge dieser Lehre, sowohl im gemeinen als im polarisirten Lichte stattfinden, und da dies nicht der Fall ist, so hat man lange Zeit die sinnreiche Hypothese von Young unberücksichtigt gelassen. Endlich beschäftigten sich Fresnel und Arago sehr sorgfältig mit diesem Gegenstande, und es glückte ihnen zu beweisen, daß die Erzeugung der Ringe von der Polarisation des einfallenden Lichtbüschels und von seiner nachherigen Zerlegung durch eine reflektirte Platte oder durch ein doppelt brechendes Prisma abhängig sei.

Folgendes sind die Gesetze der Interferenz des polarisirten Lichtes, wie sie Fresnel und Arago aufgestellt haben.

1) Interferiren sich zwei in derselben Ebene polarisirte Lichtstrahlen, so erzeugen sie durch ihre Interferenz Fransen (Säume) von derselben Beschaffenheit, als wenn sie gemeines Licht wären.

Die Bestätigung dieses Gesetzes findet man in der Wiederholung der Versuche des 10. Capitels über die Reflexion des Lichtes, wenn man statt des gemeinen Lichts polarisirtes nimmt; in beiden Fällen zeigen sich dieselben Fransen.

2) Sind die beiden Lichtstrahlen unter rechtem Winkel gegen einander polarisirt, so erzeugen sie keine farbige Fransen unter den Umständen, unter welchen zwei Strahlen gemeinen Lichtes sie erzeugen würden. Sind die Lichtstrahlen unter Winkeln zwischen 0° und 90° polarisirt, so erzeugen sie Fransen von einem mittlern Glanze, die bei 90° verschwinden und ihren höchsten Glanz bei 0° wieder erhalten, wie in dem ersten Gesetze.

Zum Beweise dieses Gesetzes wandten Fresnel und Arago

verschiedene Mittel an. Das einfachste, von dem letzteren erfunden, ist folgendes. Er machte zwei feine Spalten in eine dünne Kupferplatte, stellte diese hinter den Brennpunkt F einer Linse wie in (Fig. 56), und fing den Schatten der Platte auf einem Schirme CD auf, auf welchem man die Fransen erblickte, welche durch die Interferenz des durch die beiden Spalten gehenden Lichtes erzeugt wurden.

Um jedoch die Fransen deutlicher sehen zu können, betrachtete er sie mit einer Linse, wie wir oben gezeigt haben. Hierauf bereitete er einen Bündel durchsichtiger Platten, wie A oder B (Fig. 93), aus 15 dünnen Glimmerblättchen oder Plangläsern, und schnitt diesen Bündel mit einem scharfen Instrumente in zwei Theile. In der Durchschnittslinie hatten die Platten so viel wie möglich gleiche Dicke und konnten das unter 30° einfallende Licht vollständig polarisiren. Die Bündel wurden vor die Platten gestellt, so daß sie die Strahlen des Brennpunktes F bei einem Einfallswinkel von 30° auffingen und durch die Glimmerblätter hindurch gehen ließen, die in jedem Bündel vor ihrer Trennung sehr nahe bei einander waren. Die Bündel wurden auf Axen gestellt, und konnten gedreht werden, um ihrer Polarisationsebene eine parallele, senkrechte oder beliebig geneigte Lage geben zu können. Wurden die Bündel so gestellt, daß die Lichtstrahlen in parallelen Ebenen polarisirten, so gaben die Spalten dieselben Fransen, als wenn die Bündel gar nicht dawären; die Flächen verschwanden, wenn die Lichtstrahlen senkrecht auf einander polarisirten. In sämmtlichen Zwischenlagen hatten die Fransen einen mittlern Glanz.

3) Zwei ursprünglich senkrecht auf einander polarisirte Strahlen können dann in dieselbe Polarisationsebene gebracht werden, ohne deshalb die Kraft zu erhalten, durch ihre Interferenz Fransen zu bilden.

Wenn man in dem vorhergehenden Versuche den doppelt brechenden Krystall zwischen das Auge und die Spalten der Kupferplatte bringt, und wenn dann seine Hauptschnittsfläche gegen eine der Polarisationsebenen der interferirenden Lichtstrahlen unter 45° geneigt ist, so theilt sich jeder Lichtbüschel in zwei gleiche Büschel, polarisirt in senkrechte Ebenen, von denen die eine die Hauptschnittsfläche ist. Man müßte daher zwei Systeme von Fransen wahrnehmen, das eine erzeugt durch die Interferenz des gewöhnlichen Strahls der rechten Spalte mit dem der linken, das andere durch die Interferenz des ungewöhnli-

chen Strahls der rechten Spalte mit dem der linken; man erblickt jedoch diese Fransen nicht.

4) Zwei senkrecht auf einander polarisirte und dann in ähnliche Polarisationsebenen gebrachte Lichtstrahlen erzeugen durch ihre Interferenz Fransen wie gewöhnliche Strahlen, wenn sie nur einem Büschel angehören, der ursprünglich in derselben Ebene polarisirt ist.

5) Bei den Phänomenen der Interferenz, welche durch doppelt gebrochene Lichtstrahlen erzeugt werden, muß man eine Differenz von einer halben Undulation oder Lichtwelle zugestehen, weil einer der Büschel durch eine unbekannte Ursache um diese Größe verzögert wird.

Das zweite dieser beiden Gesetze erklärt geradezu die Thatsache, welche Young in Verlegenheit brachte, daß man nämlich keine Fransen erblickt, wenn das Licht durch eine dünne Platte doppelter Brechung hindurch geht. Die so erzeugten Büschel können durch ihre Interferenz keine Fransen geben, weil sie in entgegengesetzten Ebenen polarisirt sind.

Die Erzeugung der Fransen durch die Wirkung der doppelt brechenden Krystalle auf das polarisirte Licht erklärt sich auf folgende Weise. Es sei MN (Fig. 107) der Durchschnitt einer Platte schwefelsauren Kalks CDEF (Fig. 94), B die Zerlegungsplatte, Rr ein auf die Platte MN fallender polarisirter Lichtstrahl, und O und E der gewöhnliche und ungewöhnliche Lichtstrahl, welche durch die doppelte Brechung der Platte MN erzeugt werden. Hat nun die Platte MN eine solche Lage, daß eine ihrer neutralen Axen CD oder EF (Fig. 94) in der ursprünglichen Polarisationsebene des Strahls Rr (Fig. 107) sich befindet, so wird nur einer der Lichtbüschel von B reflektirt. Es können also dann durch die Interferenz keine Farben entstehen, weil nur ein einziger Strahl vorhanden ist. In jeder andern Lage der Platte MN dagegen werden beide Strahlen Os und Es von der Platte B reflektirt; und da sie von derselben Platte in derselben Ebene polarisirt werden, so interferiren sie sich nach obigem Gesetze und erzeugen eine Farbe oder Franse entsprechend der von der verschiedenen Geschwindigkeit herrührenden Verzögerung des einen Lichtstrahls in der Platte. Nennt man d das Verzögerungsintervall in der Platte MN, so muß man, um das wahre Intervall zu haben, eine halbe Vibration hinzurechnen, weil einer den Strahlen aus dem gewöhnlichen Zustande in

den ungewöhnlichen übergeht. Macht nun die Platte B eine Umdrehung von 20°, wobei MN festbleibt, so wird der Strahl E auf den gewöhnlichen Zustand zurückgeführt, und man muß von dem Verzögerungsintervalle d in der Platte eine halbe Vibration abrechnen, um den wahren Unterschied der Verzögerungsintervalle zu erhalten. Diese differiren also um eine ganze Vibration; mithin ist die Farbe, die entsteht, wenn die Platte B bis zu 90° gedreht wird, die Ergänzungsfarbe zu der, welche man erhält, wenn die Platte B sich in der Lage (Fig. 107) befindet.

Werden die Strahlen E und O von einer Doppelspathplatte aufgefangen und zerlegt, so erhält man zwei gewöhnliche Strahlen, deren Interferenz die Farben des einen Bildes, und zwei ungewöhnliche Strahlen, deren Interferenz die Ergänzungsfarben des andern Bildes erzeugt.

Fünfundzwanzigstes Capitel.

Polarisirende Struktur des Analzims.

§. 125.

In einem frühern Capitel haben wir von der merkwürdigen doppelten Brechung des Analzims gesprochen. Als Grundform dieses Minerals, welches auch Cubizit (Würfelzeolith) heißt, wird von den Mineralogen der Würfel angenommen; wäre dies jedoch der Fall, so dürfte es keine doppelte Brechung haben. Der Analzim hat keine ebene Spaltfläche und erscheint in dieser Beziehung wegen seiner ungewöhnlichen Phänomene in der Krystallographie als eine eben so große Analogie, wie in der Optik.

Die gewöhnlichste Form des Analzims ist das sogenannte Ikositetraëder, begrenzt von 24 gleichen und ähnlichen Trapezen; man kann sie ansehen als aus einem Würfel entstanden, von dem man jede Ecke durch drei gegen die drei den körperlichen Winkel einschließenden Flächen gleich geneigte Ebenen abgeschnitten hat. Nimmt man an, der Cubus würde von Ebenen durchschnitten, welche durch die zwölf Diagonalen seiner sechs Seitenflächen gehen, so ist jede dieser Ebenen eine Ebene ohne doppelte Brechung und ohne Polarisation; geht also ein polarisirter Lichtstrahl in einer beliebigen Richtung hindurch, so gibt er, wenn er sich nur in einer dieser Ebenen befindet, keine polarisirte Färbung, wenn man den Krystall in den Apparat (Fig. 94) bringt. Die

Ebenen ohne doppelte Brechung sind in (Fig. 108 und 109) mit schwarzen Linien bezeichnet. Fällt der polarisirte Strahl in irgend einer Richtung außer diesen Ebenen ein, so theilt er sich in zwei Büschel und gibt die schönsten Farben, die sich sämmtlich auf Ebenen ohne doppelte Brechung beziehen. Die doppelte Brechung ist groß genug zur deutlichen Trennung der Bilder, wenn der einfallende Strahl durch zwei beliebige den drei Axen des Körpers oder des Cubus, aus dem er entstanden ist, anliegende Ebenen geht. Das hintere gebrochene Bild ist das ungewöhnliche, und folglich die doppelte Brechung in Bezug auf die Axen, welche auf dem doppelt gebrochenen Strahl senkrecht stehen, negativ.

In allen übrigen doppelt brechenden Krystallen besitzt jedes Atom dieselbe doppelte Brechungskraft; in dem Analzim jedoch variirt dieselbe mit dem Quadrate des Abstandes von den vorhin genannten Ebenen.

Die schöne Vertheilung der Farben (Fig. 108, 109) zeigt sich nicht auf einmal; man erhält sie nur, wenn man das polarisirte Licht in jeder Richtung durch das Mineral hindurch gehen läßt.

In mehreren Krystallen erheben sich die Farben bis zur dritten und vierten Ordnung; bei sehr kleinen Krystallen überschreiten jedoch die Farben das Weiß erster Ordnung nicht. Die Farben sind die der Newton'schen Tabelle, woraus folgt, daß sie nicht durch eine entgegengesetzte unähnliche Wirkung hervorgebracht werden. In den Figuren 108 und 109 sind die Farben durch schwach schattirte Linien dargestellt, welche von den Ebenen auslaufen, worin die doppelte Brechung verschwindet.

Diese Eigenthümlichkeit des Analzims ist ein einfacher und leicht anzuwendender mineralischer Charakter, woran man selbst das unförmlichste Stück dieses Minerals erkennen kann.

Hauy war der erste, welcher die Bemerkung machte, daß dieses Mineral sich durch Reibung nicht elektrisiren lasse; er gab ihm deshalb den Namen Analzim. Bedenkt man, daß dasselbe von zahlreichen Ebenen durchschnitten wird, worin entweder kein Aether vorhanden ist, oder worin er durch entgegengesetzte Wirkungen neutralisirte Eigenschaften besitzt, so kann man diesem Grunde die Schwierigkeit zuschreiben, mit welcher die in dem Minerale enthaltene natürliche Menge von Elektricität durch die Reibung zerlegt wird.

Sechsundzwanzigstes Capitel.

Kreisförmige Polarisation.

§. 126.

In allen einaxigen Krystallen gibt es längs der Axe weder doppelte Brechung noch Polarisation, was sich in dem Ringsysteme durch die Abwesenheit alles Lichts in den Mittelpunkten der Ringe, den Durchschnittspunkten des schwarzen Kreuzes zeigt. Untersucht man jedoch das Ringsystem einer Platte Bergkrystall, deren Seitenflächen senkrecht auf der Axe stehen, so findet sich das schwarze Kreuz durch einen Ring verwischt, der eine gleichförmige Färbung je nach der Dicke der Platte aus Roth, Grün oder Blau hat. Fig. 110 stellt diese Erscheinung dar; Arago bemerkte sie zuerst im Jahre 1811. Er fand, daß wenn diese Farben durch ein Kalkspathprisma zerlegt wurden, die beiden Bilder die ergänzenden Farben hatten, daß die Farben sich änderten und in der Newton'schen Tabelle heruntergingen, wenn das Prisma gedreht wurde; war z. B. das ungewöhnliche Bild roth, so wurde es allmählich orangegelb, grün und violet. Er schloß hieraus, daß die verschiedenartigen Strahlen bei ihrem Durchgange längs der Axe des Bergkrystalls in verschiedene Ebenen polarisirt würden. Späterhin behandelte Biot diesen Gegenstand mit mehr Eifer und Erfolg.

Es sei CDEF (Fig. 94) die Quarzplatte, längs deren Axe man den polarisirten Lichtstrahl durchgehen läßt. Bringt man das Auge in E über die Zerlegungsplatte, welche wie in der Figur befestigt ist, so sieht man z. B. einen rothen kreisförmigen Raum in der Mitte der Ringe. Dreht man die Quarzplatte um ihre Axe, so geht keine Veränderung vor; dreht man aber die Platte C von der Rechten zur Linken etwa um 100°, so geht das Roth über in Orange, Gelb, Grün und Violet, wo das letztere die Färbung eines dunkeln Purpurs hat.

Schneidet man aus demselben Prisma von Bergkrystall eine Platte von doppelter Dicke, und bringt man diese in den Apparat, indem man die Platte B an ihre Stelle läßt, so erhält man eine von der ersten Platte verschiedene Farbe; dreht man aber die Platte B 100° weiter, so erhält die Färbung ihre geringste Stärke, d. h. sie wird ein dunkles Violet. Mit einer dreimal so dicken Platte erhält man denselben Farbengrad, wenn man die Platte B 100° weiter dreht; so geht dies fort, bis die Dicke sehr groß wird, wo dann die Platte B mehrere vollständige Umdrehungen erlitten hat. Dabei könnte man

denn eine solche Dicke getroffen haben, daß die Umdrehung von B zur Erzeugung des dunkeln Violets gerade 360° betrüge, also in den Nullpunkt zurückfiele, von welchem sie ausgegangen ist. Dies würde den Beobachter in Verlegenheit setzen, wenn er nicht die beschriebene Reihe von Versuchen angestellt hätte.

Man begreift diese Phänomene besser, wenn man annimmt, daß die Quarzplatte eine Dicke von $\frac{1}{25}$ Zoll habe, und daß man sich nacheinander der verschiedenen gleichartigen Lichtstrahlen bediene. Fängt man mit Roth an, so hat das Roth im Mittelpunkte der Ringe seinen höchsten Glanz, wenn die Platte B 0° Azimuth hat, wie in (Fig. 94). Dreht man B von der Rechten zur Linken, so vergrößert sich die rothe Farbe, und verschwindet bei $17\frac{1}{2}$°, nachdem sie ihr Maximum erreicht hat. Mit einer $\frac{2}{25}$ Zoll dicken Platte verschwindet das Roth bei 35°, und eine jedesmalige Zunahme der Dicke um $\frac{1}{25}$ Zoll, verlangt eine Vergrößerung der Rotation von $17\frac{1}{2}$°. Nimmt man violettes Licht, so verlangt dieselbe Dicke von $\frac{1}{25}$ Zoll eine Rotation von 41° zum Verschwinden, und für jedes $\frac{1}{25}$ Zoll mehr Dicke muß eine Rotation von 41° hinzukommen.

§. 127.

Die Rotation für verschiedene Farben, die zu $\frac{1}{25}$ Zoll Dicke der Quarzplatte gehören, sind folgende:

Gleichartiges Licht	Rotation	
1) Aeußerstes Roth	17°	50′
2) Mittleres Roth	19	00
3) Grenze zwischen Roth und Orange	20	50
4) Mittleres Orange	21	40
5) Grenze zwischen Orange und Blau	30	05
6) Mittleres Blau	32	31
7) Grenze zwischen Blau und Indigo	34	57
8) Mittleres Indigo	36	13
9) Grenze zwischen Indigo und Gelb	22	31
10) Mittleres Gelb	24	00
11) Grenze zwischen Gelb und Grün	25	68
12) Mittleres Grün	27	86
13) Grenze zwischen Grün und Violet	37	68
14) Mittleres Violet	40	88
15) Aeußerstes Violet	40	08

Biot fand bei der Untersuchung verschiedener Exemplare von Quarz, daß mehrere von ihnen dieselben Phänomene hervorbrachten, wenn man die Platte B von der Linken zur Rechten drehte.

Auf diese Eigenschaft könnte man eine Eintheilung des Quarzes

begründen in Krystalle mit rechtsseitiger und linksseitiger Drehung.

Aus diesen interessanten Thatsachen folgt, daß das polarisirte Licht, welches längs der Axe des Quarzes fortgeht, sich nach seinem Ausgange aus dem Krystalle so verhält, als wenn die Polarisationsebenen in der Richtung einer Spirale rotirten, die in einigen Exemplaren von der Rechten zur Linken und in anderen von der Linken zur Rechten liegt. »Dieser Unterschied fällt,« wie Herschel sagt, »deutlich in die Augen, wenn man einen Korkzieher mit der Spitze gegen sich hält, und ihn so herumdreht, als wolle man eine Flasche entkorken. Die Spitze dreht sich dann auf dieselbe Weise, wie die Polarisationsebene eines Lichtstrahls, welcher vom Beobachter aus durch einen Krystall mit rechtsseitiger Drehung geht. Hätte der Schraubengang des Korkziehers die umgekehrte Richtung, so stellt die Bewegung der Spitze die Bewegung der Polarisationsebene in einem Exemplare mit linksseitiger Drehung dar. Aus dem entgegengesetzten Verhalten dieser beiden Varietäten des Quarzes folgt, daß wenn man eine Quarzplatte mit rechtsseitiger Drehung mit einer Platte mit linksseitiger Drehung verbindet, das Resultat der Verbindung das der dicksten der beiden Platten ist, und zwar einer Platte, deren Dicke der Differenz der Dicken beider Platten gleich ist. Verbindet man also eine 1 Zoll dicke Quarzplatte mit rechtsseitiger Drehung mit einer 4 Zoll dicken Platte von linksseitiger Drehung, so erhält man dieselben Farben, wie mit einer 3 Zoll dicken Platte mit linksseitiger Drehung. Sind beide Platten gleich dick, so vernichten sie ihre Wirkungen gegenseitig, und man sieht das System der Ringe mit dem schwarzen Kreuze ganz deutlich.

§. 128.

Bei einer Untersuchung der Phänomene der kreisförmigen Polarisirung im Amethyst fand ich, daß dasselbe Exemplar das Vermögen besaß, die Polarisationsebene von der Rechten zur Linken und von der Linken zur Rechten zu wenden, und aus abwechselnden Schichten von Quarzplatten mit rechts- und linksseitiger Rotation bestand, deren Ebenen parallel zur Axe des doppelt brechenden Prisma waren. Schneidet man eine Platte senkrecht zur Axe der Pyramide, so durchschneidet man diese Schichten, wie in (Fig. 111), wo sie die Durchschnitte von Lagen geben, die den drei Wechselflächen der sechsseitigen Pyramide gegenüber liegen. Die schattirten Linien wenden die Polarisationsebenen

von der Rechten zur Linken; die nicht schattirten Zwischenlinien, sowie die nicht schattirten drei Sectoren von der Linken zur Rechten; die Schichten sind nicht mit einander verbunden, wie die Theile mancher zusammengesetzter Krystalle, in denen die unähnlichen Flächen sich mechanisch berühren, denn die Schichten mit rechts- und linksseitiger Rotation vernichten sich in einer Zwischenlinie, und jede Schicht hat ihr Maximum von Polarisation in dieser Zwischenlinie, wobei die Polarisationskraft allmählich bis zu den Verbindungslinien abnimmt.

In einigen Exemplaren von Amethyst haben diese Schichten eine so geringe Dicke, daß die Wirkung der Quarzschicht mit rechtsseitiger Rotation sich beinahe bis in die Centrallinien der Quarzschicht mit linksseitiger Drehung erstreckt, und umgekehrt, so daß sie sich vernichten; daher hat in diesen Exemplaren die Färbung der kreisförmigen Polarisation sehr wenigen Einfluß auf das System farbiger Ringe mit dem schwarzen Kreuze. Eine Amethystplatte z. B., die in der Richtung der Axe ein Millimeter dick ist, kann in der auf die Axe senkrechten Richtung so dünn sein, daß die Rotationsaxe des rothen Lichtstrahls 0° beträgt, und man sieht dann die Erscheinungen einer Platte, welche nur die am meisten brechbaren Strahlen des Spectrums kreisförmig polarisirt. Bei einer geringern Dicke der Schichten könnte die Platte die gelben Strahlen nicht polarisiren, und bei einer noch geringern Dicke würde sie keine Wirkung auf das Violet haben. Die schwachen Wirkungen können jedoch bei großen Dicken des Minerals sichtbar werden.

Hieraus folgt, daß die Rotationsaxen des Amethysts je nach der Dicke der Schichten von 0° an bis zu jeder der Zahlen vorstehender Tabelle variiren.

Die farbengebende Materie des Amethysts fand ich in Rücksicht dieser Phänomene sehr merkwürdig vertheilt; eine genauere Belehrung darüber findet man in der Original-Abhandlung *).

Biot behauptet, diese merkwürdige Eigenschaft des Quarzes habe ihren Grund in den letzten Atomen desselben und begleite diese in alle ihre Verbindungen. Ich habe sie jedoch im Opal, im Tabosheer und in andern kieselhaltigen Körpern nicht gefunden; sie verschwindet im

---

*) **Transactions of the royal soc. of Edinburgh. Vol. IX. pag. 139.**

geschmolzenen Quarz. Herschel fand sie in einer Auflösung der Kieselerde in Pottasche nicht.

Bis jetzt hat man keinen Zusammenhang zwischen dem Quarze mit rechts- und linksseitiger Rotation, und zwischen der krystallinischen Form der mit diesen Eigenschaften behafteten Exemplare entdecken können.

Herschel fand jedoch, daß der Afterquarzkrystall, welcher die nicht symmetrischen Flächen xxx (Fig. 112) besitzt, die Polarisationsebene in die Richtung wendet, in welcher diese Flächen sich gegen die Scheitel Axx, axx lehnen.

§. 129.

Kreisförmige Polarisation in flüssigen Körpern.

Die merkwürdige Eigenschaft der kreisförmigen Polarisation findet sich auch in geringem Grade in einigen flüssigen Körpern und wurde hier von Biot und Seebeck entdeckt. Herschel fand sie im Kampher in festem Agregatzustande; ich entdeckte sie in mehreren Exemplaren nicht geölten Glases. Füllt man eine 6 bis 7 Zoll lange Röhre mit Terpentinöl und bringt sie in den Apparat (Fig. 94), so daß das polarisirte und vom Oele durchgelassene Licht von der Platte B in's Auge reflektirt wird, so nimmt man die complementairen Farben und eine deutliche Rotation der Polarisationsebene von der Rechten zur Linken wahr. Andere Flüssigkeiten drehen die Polarisationsebenen von der Linken zur Rechten, wie aus folgender Tabelle hervorgeht, welche die Resultate der Biotschen Versuche enthält:

Substanz.	Rotationsaxen für jedes Millimeter Dicke.	Relative Dicken für denselben Effect.
Krystalle, welche die Ebenen von der Rechten zur Linken wenden.		
Bergkrystall	18° 414	1
Terpentinöl	0 270	68½
1753 Theile künstlicher Kampher in 17359 Theilen Alkohol aufgelöset	0 018	
Echtes Loröl		
Terpentinöl		
Krystalle, welche die Ebenen von der Linken zur Rechten wenden.		
Bergkrystall	18 414	1
Echtes Citronenöl	0 436	38
Concentrirter Syrup	0 554	4½

Nach **Fresnel** werden diese Phänomene im Quarz durch die Interferenz zweier von der doppelten Brechung der Axe längs des Quarzes gebildeten Büschel hervorgebracht. Es glückte ihm, diese bei dem Büschel zu trennen, die vom gemeinen und polarisirten Lichte abwichen. Sie unterschieden sich vom polarisirten Lichte dadurch, daß wenn einer von ihnen durch einen doppelt brechenden Krystall verdoppelt wird, der Büschel oder das Bild bei der Umdrehung des Krystalls nicht verschwindet. Sie unterscheiden sich vom gemeinen Lichte dadurch, daß wenn sie zwei totale Reflexionen vom Glase unter einem Winkel von 54° erleiden, der eine polarisirt in einer um 45° rechts von der totalen Reflexionsebene geneigten Ebene austritt, und der andere in einer Ebene, die um 45° zur Linken geneigt ist. **Fresnel** entdeckte noch folgende Eigenschaften in einem kreisförmigen polarisirten Lichtstrahle: Wird derselbe von einem dünnen Plättchen parallel zu dessen Axe durchgelassen, so theilt er sich in zwei Büschel von complementairen Farben; diese stehn um $\frac{1}{4}$ Ordnung nach der **Newton**'schen Tabelle über oder unter der Farbe, welche dieselbe krystallisirte Platte im polarisirten Lichte gegeben haben würde.

Fresnel hat auch gezeigt, daß ein längs der Axe des Bergkrystalls durchgelassener, kreisförmig polarisirter Lichtstrahl keine complementairen Farben gibt, wenn man ihn zerlegt.

§. 130.

Die Untersuchung dieses merkwürdigen Gegenstandes führte **Fresnel** auf folgende Methode, einen Strahl mit allen vorhin genannten Eigenschaften hervorzubringen, der genau einem der durch die doppelte kreisförmige Brechung gebildeten Büschel gleich ist.

Es sei ABCD (Fig. 113) ein Parallelepipedum von Kronglas mit dem Brechungsexponent 1,510, dessen Winkel ABC und ADC jeder $54\frac{1}{2}$° ist. Fällt ein gewöhnlicher polarisirter Strahl rR senkrecht auf AB und tritt er, nachdem er zwei totale Reflexionen in E und F unter Winkeln von $54\frac{1}{2}$° erlitten hat, senkrecht aus CD heraus, und finden diese Reflexionen in einer gegen die Polarisationsebene des Strahls unter 45° geneigten Ebene statt, so hat der ausfahrende Strahl FG sämmtliche Eigenschaften eines kreisförmig polarisirten, und gleicht vollkommen einem der beiden Strahlen, die durch doppelte Brechung längs der Axe des Bergkrystalls hervorgebracht werden. Da aber der kreisförmig polarisirte Lichtstrahl durch zwei totale Reflexionen

unter $54\frac{1}{2}^\circ$ in eine einzige Polarisationsebene gebracht werden kann, welche gegen die Reflexionsebene eine Neigung von 45° hat, so folgt und ich habe es durch meine Versuche bewiesen, daß bei einer hinreichenden Länge des Parallelepipedums ABCD der Büschel daraus nach 2, 6, 10, 14, 18 Reflexionen kreisförmig polarisirt, und nach 4, 8, 12, 16, 20 Reflexionen in eine einzige Ebene polarisirt hervortritt.

Fresnel zeigte, daß der Lichtstrahl rR aus G kreisförmig polarisirt heraustritt, durch drei totale Reflexionen unter 69° 12′, und durch vier totale Reflexionen unter 74° 42′. Nach vorstehendem Raisonnement würde also der Strahl kreisförmig polarisirt durch 9, 15, 21, 27, u. s. w. Reflexionen bei 69° 12′, und auf gewöhnliches polarisirtes Licht zurückgeführt durch 6, 12, 18, 24 Reflexionen unter demselben Winkel; er wird kreisförmig polarisirt durch 12, 20, 28, 36 Reflexionen bei 64° 12′, oder auf gewöhnliches polarisirtes Licht zurückgeführt.

Ich habe gefunden, daß die kreisförmige Polarisation durch $2\frac{1}{2}$, $7\frac{1}{2}$, $12\frac{1}{2}$ Reflexionen, überhaupt durch jedes Vielfache der Zahl $2\frac{1}{2}$ hervorgebracht werden kann, denn obgleich man den Strahl nicht mitten in einer Reflexion wahrnehmen kann, so sieht man ihn doch, wenn man ihn bei 5, 10, 15 Reflexionen in eine einzige Polarisationsebene zurückführt *).

Bedient man sich des gleichartigen Lichtes, so ist der Winkel, unter welchem die kreisförmige Polarisation stattfindet, für verschiedenartige Strahlen auch verschieden, weshalb denn die verschiedenen Strahlen bei demselben Reflexionswinkel nicht in eine einzige Polarisationsebene gebracht werden können. Man sieht deshalb die complementairen Farben, welche ich vor schon längerer Zeit beschrieben habe, und die, so viel ich weiß, von Niemand anders beobachtet worden sind **). Diese Farben sind wesentlich von denen des gemeinen polarisirten Lichtes verschieden; wir kommen im folgenden Capitel auf sie zurück.

---

*) Philosophical transactions vom Jahre 1830. S. 301.
**) Philosophical transactions, Jahrgang 1830, S. 309, 325.

Siebenundzwanzigstes Capitel.

Elliptische Polarisirung und Wirkung der Metalle auf das Licht.

§. 131.

Elliptische Polarisation.

Die Wirkung der Metalle auf das Licht war immer eine Anomalie, die der Physiker nicht zu erklären wußte. Malus kündete zuerst an, die Metalle wirkten nicht auf das Licht; er fand jedoch, daß der Unterschied zwischen den transparenten und den metallischen Körpern darin bestand, daß die ersten alles Licht, welches sie in eine Ebene polarisiren, zurückwerfen, und alles dasjenige brechen, welches sie in der entgegengesetzten Ebene polarisiren, daß dagegen die metallischen Körper das Licht reflektiren, welches sie in beide Ebenen polarisiren. Ehe ich etwas von den Versuchen von Malus kannte, fand ich, *) daß das Licht durch die Wirkung metallischer Körper modificirt wurde, und daß sämmtliche Metalle, welche ich zu meinen Versuchen anwendete, einen großen Theil des Lichts in die Einfallsebenen polarisirten.

Im Februar 1815 entdeckte ich die merkwürdige Eigenschaft des Goldes, des Silbers und anderer Metalle, zufolge welcher sie durch aufeinander folgende Reflexionen die polarisirten Lichtstrahlen in ihre Ergänzungsfarben auflösten; einige Resultate brachten mich auf die Vermuthung, daß die Reflexion eines metallischen Körpers dieselbe Wirkung hätte, wie eine gewisse Dicke eines krystallisirten Körpers, und daß die krystallisirten Farben je nach dem Einfallswinkel verschieden wären und durch eine größere Anzahl von Reflexionen schöner würden. Biot wurde bei Wiederholung meiner Versuche und bei einer sorgfältigen Betrachtung dieser Phänomene **) durch dieselben Gründe getäuscht, und theilte eine Menge von Versuchen, Formeln und Rechnungen mit, in denen die wahren Erscheinungen dunkel und verworren sind. Obgleich mich Manches in dieser kühnen Verallgemeinerung ansprach, so habe ich sie doch niemals als einen correcten Ausdruck dieser Phänomene angesehen, und den Gegenstand von Neuem vorgenommen mit der größten Begierde, seiner Meister zu werden. Dies ist mir denn auch geglückt; ich führte alle Phänomene der Wirkung

---

*) Traité des nouveaux instruments scientifiques, pag. 347 und Vorrede.

**) Traité de physique, Band IV. S. 579 und 600.

der Metalle auf eine neue Art von Polarisation zurück, welche ich die elliptische nenne, und welche die Phänomene der kreisförmigen und der geradlinigen Polarisation mit einander verbindet.

§. 132.

Bei der Wirkung der Metalle auf das gemeine Licht läßt sich die von Malus angekündigte Thatsache, daß das von ihnen reflektirte Licht in verschiedenen Ebenen polarisirt wird, leicht wahrnehmen. Ich habe gefunden, daß der in der Polarisationsebene reflectirte Büschel immer intensiver ist, als der in der senkrechten Ebene polarisirte. Den geringsten Unterschied fand ich beim Silber, den größten beim Bleiglanz; folglich polarisirt der letztere mehr Licht in der Reflexionsebene als das Silber. Folgende Tabelle zeigt die Wirkungen anderer Metalle.

Reihefolge, in welcher die Büschel das mindeste Licht in der Reflexionsebene polarisiren:

Bleiglanz	Quecksilber
Blei	Kupfer
Grauer Kobalt	Zinn in Platten
Arsenikhaltiger Kobalt	Bronze
Eisenhaltiger Kies	Zinngraupen
Antimon	Bijouteriegold
Stahl	Reines Gold
Zink	Gewöhnliches Silber
Spiegelmetall	Reines Silber
Platina	Totale Reflexion von Glas
Wismuth	

Durch eine Vervielfachung der Reflexionen kann sämmtliches Licht in die Reflexionsebene polarisirt werden. Acht Reflexionen von Stahlplatten polarisiren sämmtliches Licht einer Wachskerze, die zehn Fuß entfernt ist.

Man braucht mehr Reflexionen (über 36), wenn man dieselbe Wirkung mit reinem Silber erhalten will, und in den totalen Reflexionen vom Glase, wo die kreisförmige Polarisation anfängt, und wo die beiden Büschel gleich sind, läßt sich diese Wirkung durch keine noch so große Zahl von Reflexionen erreichen.

Zur Untersuchung der Wirkung der Metalle auf polarisirtes Licht hat man zwei ebene gut polarisirte Platten von demselben Metalle

nöthig, deren jede $1\frac{1}{2}$ Zoll lang und $1\frac{1}{2}$ Zoll breit ist. Man befestigt diese Platten parallel auf einem Winkelmesser oder irgend einem andern eingetheilten Instrumente so, daß man die eine Platte der andern nähern kann und daß ihre Flächen den polarisirten Lichtstrahl unter verschiedenen Einfallswinkeln aufzunehmen vermögen. Statt die Platten um den polarisirten Lichtstrahl rotiren zu lassen, fand ich es besser, die Polarisationsebene des Lichtstrahls um die Platten zu drehen, so daß man die Reflexions- und Polarisationsebenen unter jeden beliebigen Winkel stellen kann. Man zerlegt hierauf den ein oder mehre Male von den Platten reflectirten Lichtstrahl mit Hilfe einer Glasplatte oder eines Doppelspathrhombus.

Ist die Reflexionsebene der Platten parallel oder senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisationsebene, so wird das reflectirte Licht nicht besonders modificirt, mit Ausnahme des Umstandes, daß Licht in der Reflexionsebene polarisirt wird. In jeder andern Lage der Reflexionsebene dagegen erleidet der Büschel bei jedem Einfallswinkel und bei jeder beliebigen Anzahl von Reflexionen besondere Modificationen, die wir auseinandersetzen wollen. Eine von ihnen ist so auffallend und so schön, daß wir sie sogleich mittheilen wollen. Bestehen die Platten aus Gold oder aus Silber, so sieht man die lebhaftesten Ergänzungsfarben in den gewöhnlichen und ungewöhnlichen Bildern, und diese Farben verändern sich mit der Größe des Einfallswinkels und mit der Anzahl der Reflexionen; sie haben ihren höchsten Glanz, wenn die Neigung der Reflexionsebene gegen die Einfallsebene 45° beträgt, und sie verschwinden bei 0° und bei 90° Neigung. Alle übrigen Metalle der vorstehenden Tabelle geben ähnliche Farben; die schönsten erhält man jedoch mit Silber, und ihr Glanz vermindert sich vom Silber an bis zum Bleiganz.

Um den Grund dieser Erscheinungen aufzufinden, wollen wir annehmen, man bediene sich einer Stahlplatte und die Ebene des polarisirten Lichtes sei gegen die Reflexionsebene unter einem Winkel von 45° geneigt. Bei einem Einfallswinkel von 75° erleidet das Licht eine physische Aenderung, die bei diesem Winkel ihr Maximum hat. Es ist kein polarisirtes Licht, weil es bei der Umdrehung der Zerlegungsplatte nicht verschwindet. Es ist weder gemeines Licht noch partiell polarisirtes, weil es nach einer zweiten Reflexion unter 75° sich in einer einzigen Ebene polarisirt. Läßt man das von der Stahlplatte

unter 75° reflectirte Licht längs der Axe des Doppelspaths durchgehen, so verwandelt sich das Ringsystem (Fig. 98) in das (Fig. 114), als wenn eine dünne Schicht eines krystallisirten Körpers, welcher das Blau ersten Ranges polarisirt, das System durchschnitte. Nimmt man statt des Kalkspaths schwefelsaure Kalkschichten, welche verschiedene Farben geben, so vergrößern sich die Färbungen fast um den vierten Theil, je nachdem die metallische Wirkung mit der des Krystalls zusammenfällt oder ihr entgegengesetzt ist. Gerade diese Thatsache brachte mich auf die Vermuthung, daß die Metalle wie krystallisirte Platten wirken; und als ich fand, daß die Farben nach mehren auf einander folgenden Reflexionen sich besser und schöner entwickelten, so zog ich daraus, so wie später Biot, den gewagten Schluß, daß jede folgende Reflexion einer vergrößerten Dicke der Schicht entspreche. Die Falschheit dieser Meinung zeigt sich, wenn man 2, 4, 6, 8 Mal vom Stahl unter einem Winkel von 75° reflectirtes Licht längs der Axe des Doppelspaths durchgehen läßt; man findet dann, daß das Ringsystem vollkommen ist, und daß sämmtliches Licht in eine Ebene polarisirt wird; ein Resultat, was sich durchaus nicht mit der Annahme von Farben verträgt, die sich nach der Zahl der Reflexionen vermehren sollen. Bei 1, 3, 5, 7, 9, 11 Reflexionen erzeugt das längs der Axe des Doppelspaths durchgelassene Licht nahe $\frac{1}{4}$ Färbung, worüber es nie hinausgeht.

Ich sah hierauf, daß das 1, 3, 5, 7, 9 Mal vom Stahl unter 75° reflectirte Licht dem kreisförmig polarisirten glich. In dem durch zwei Reflexionen vom Glase kreisförmig polarisirten Licht wird der ursprünglich unter 45° gegen die Reflexionsebene polarisirte Lichtstrahl durch zwei Reflexionen unter demselben Winkel zu polarisirtem Lichte bei — 45° gegen die Reflexionsebene, während beim Stahle ein bei + 45° polarisirter, und einmal vom Stahle bei 75° reflectirter Lichtstrahl durch eine zweite Reflexion unter 75° zu polarisirtem Lichte bei — 17° wird.

Man erhält dieselben Wirkungen bei verschiedenen Metallen; allein die Neigung der Polarisationsebene des zu polarisirtem Lichte gewordenen Strahls ist verschieden, wie folgende Tabelle zeigt.

Totale Reflexionen.	Neigung des zu polarisirtem Lichte gewordenen Strahles.
Vom Glase	45° 00
„ reinen Silber	39 48
„ gewöhnlichen Silber	36 00
„ reinem Golde	35 00
„ Bijouteriegolde	33 00
„ Zinngraupe	33 00
„ Bronze	32 00
„ Zinnplatten	31 00
„ Kupfer	29 00
„ Quecksilber	26 00
„ Platina	22 00
„ Wismuth	21 00
„ Spiegelmetall	21 00
„ Zink	19 00
„ Stahl	17 00
„ eisenhaltigen Kiese	17 00
„ Antimon	16 15
„ Arsenikkobalt	13 00
„ Kobalt	12 30
„ Blei	11 00
„ Bleiglanz	2 00
„ Spiegeleisen	0 00

Bei den totalen Reflexionen oder bei der kreisförmigen Polarisirung wird der kreisförmig polarisirte Lichtstrahl in eine einzige Ebene gebracht durch dieselbe Anzahl von Reflexionen und bei demselben Winkel, durch welchen er die kreisförmige Polarisirung erhalten hat, wie auch die Neigung der Ebene des zweiten Paares von Reflexionen gegen die des ersten beschaffen sein mag. Bei der metallischen Polarisirung dagegen ändert sich der Winkel, unter welchem die zweite Reflexion den Lichtstrahl in eine einzige Polarisationsebene bringt, mit der Neigung der Ebene der zweiten Reflexion gegen die der ersten. Bei totalen Reflexionen ändert sich dieser Winkel wie der Halbmesser eines Kreises, d. h. er ist unveränderlich. Bei der metallischen Polarisirung ändert er sich wie die Halbmesser einer Ellipse. Ist die Ebene des polarisirten Strahls gegen die ursprüngliche Polarisationsebene unter 45° geneigt, so wird der einmal bei 75° reflectirte Strahl zu polarisirtem Lichte bei dem Einfallswinkel von 75°; sind aber die beiden Ebenen parallel, so wird er es erst bei 80°; sind sie senkrecht bei 70°, und bei mittlern Neigungen auch bei mittlern Winkeln. Dies ist der Grund, warum ich diese Polarisation eine elliptische genannt habe.

Wir haben schon vorhin gesehen, daß das bei 45° polarisirte

Licht durch 1, 3, 5, 7 Reflexionen vom Stahle unter 75° elliptisch polarisirt, und durch 2, 4, 6, 8 Reflexionen unter demselben Winkel in eine einzige Polarisationsebene gebracht wird; wir haben auch bemerkt, daß die Polarisationsebene des durch zwei Reflexionen zu polarisirtem Lichte gewordenen Strahls sich im Zustande von — 17° befindet. Folgendes sind die verschiedenen Neigungen dieser Ebene gegen die Reflexionsebene bei einer verschiedenen Anzahl Reflexionen vom Stahle und Silber.

Anzahl der Reflexionen.	Neigung der Ebene des polarisirten Lichtstrahls.	
	Stahl.	Silber.
2	— 17° 00	— 38° 15′
4	+ 5 22	+ 31 52
6	— 1 38	— 26 6
8	+ 0 30	+ 21 7
10	— 0 9	— 16 56
12	+ 0 3	+ 13 30
18	— 0 0	— 6 42
36	+ 0 0	+ 0 47

Diese Resultate zeigen sehr deutlich, warum das gewöhnliche Licht vom Stahle nach 8, und vom Silber nach 36 Reflexionen reflectirt wird. Das gemeine Licht besteht aus zwei polarisirten Lichtbüscheln, dem einen bei + 45°, dem andern bei — 45°; der Stahl bringt diese Polarisationsebenen in die Reflexionsebene nach 8 Reflexionen; beim Silber ist dies erst nach 36 Reflexionen der Fall.

§. 133.

Man kann die Winkel, unter denen die elliptische Polarisirung durch eine Reflexion erzeugt wird, als die Maxima der Polarisationswinkel der Metalle, und ihre Tangenten als die Brechungsexponenten dieser Metalle ansehen, wie folgende Tabelle zeigt.

Namen der Metalle.	Maximum des Polarisationswinkels.	Brechungsexponent.
Zinngraupen	78° 30′	4,915
Quecksilber	78 27	4,893
Bleiglanz	78 10	4,773
Eisenhaltiger Kies	77 30	4,511
Grauer Kobalt	76 56	4,309
Spiegelmetall	76 00	4,011
Geschmolzener Antimon	75 25	3,844
Stahl	75 00	3,732
Wismuth	74 50	3,689
Reines Silber	73 00	3,271
Zink	72 30	3,272
Gewalzte Zinnplatten	70 50	2,879
Bijouteriegold	70 45	2,864

Die elliptische Polarisirung läßt sich durch eine hinreichende Anzahl von Reflexionen bei jedem gegebenen Winkel unter oder über dem Maximum des Polarisationswinkels erzeugen, wie aus vorstehender Tabelle hervorgeht.

Anzahl der Reflexionen, welche die elliptische Polarisirung erzeugt.	Anzahl der Reflexionen, wodurch der Strahl in eine einzige Ebene gebracht wird.	Beobachteter Einfallswinkel.
3, 9, 15, u. s. w.	6, 12, 18, u. s. w.	86″ 00′
$2\frac{1}{2}$, $7\frac{1}{2}$, $12\frac{1}{2}$, u. s. w.	5, 10, 15, u. s. w.	84 00
2, 6, 10, u. s. w.	4, 8, 12, u. s. w.	82 20
$1\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, $7\frac{1}{2}$, u. s. w.	3, 6, 9, u. s. w.	79 00
1, 3, 5, u. s. w.	2, 4, 6, u. s. w.	75 00
$1\frac{1}{2}$, $4\frac{1}{2}$, $7\frac{1}{2}$, u. s. w.	3, 6, 9, u. s. w.	67 40
2, 6, 10, u. s. w.	4, 8, 12, u. s. w.	60 20
$2\frac{1}{2}$, $7\frac{1}{2}$, $12\frac{1}{2}$, u. s. w.	5, 10, 15, u. s. w.	56 25
3, 9, 15, u. s. w.	6, 12, 18, u. s. w.	52 20

Ist die Anzahl der Reflexionen eine ganze Zahl, so begreift man leicht, wie ein elliptisch polarisirter Lichtstrahl seinen Lauf von Neuem beginnt und seinen Polarisationszustand in derselben Ebene durch dieselbe Anzahl von Reflexionen, durch die er ihn verloren hat, wieder annimmt; interessant ist es zu bemerken, daß wenn die Anzahl der Reflexionen $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ oder irgend eine gemischte Zahl ist, der Strahl seine elliptische Polarisation mitten in der zweiten oder dritten Polarisation erhält, d. h., daß er, wenn er seine höchste Tiefe in der metallischen Fläche erlangt hat, seinen Polarisationszustand in einer einzigen Ebene wieder anzunehmen beginnt und ihn völlig erlangt nach 3, 5, 7 Reflexionen.

Eine sehr bemerkenswerthe Wirkung erhält man, wenn eine Reflexion auf der einen Seite des Maximums vom Polarisationswinkel und eine andere auf der andern Seite stattfindet. Ein Lichtstrahl, welcher eine partielle elliptische Polarisation bei 85° erlangt hat, nimmt keine weitere elliptische Polarisirung durch eine Reflexion bei 54° an, sondern beginnt seinen Lauf von Neuem, und kommt in seinen Zustand der einfachen Polarisirung zurück.

Durch eine Methode, deren genaue Auseinandersetzung hier zu weitläufig sein würde, habe ich die Anzahl der Rückkehrpunkte oder Knoten bestimmt, die sich bei verschiedenen Einfallswinkeln von 0 bis 90° für eine beliebige Zahl von Reflexionen einstellen können, und sie (Fig. 115) abgebildet, wo die Bogen **I**, **II** **II** u. s. w. den Einfallsquadranten für **1**, **2**, u. s. w. Reflexionen darstellen. **C** ist der Punkt

für 0° und B der Punkt für 90° Einfallswinkel. In dem Quadranten II gibt es keine Knoten. In II II hat man einen einzigen Knoten bei 73° für Silber. In III III gibt es zwei Knoten, weil ein durch $1\frac{1}{2}$ Reflexionen elliptisch polarisirter Lichtstrahl wieder hergestellt wird durch 8 Reflexionen bei 63° 43′ unter dem Maximum des Polarisationswinkels, und bei 79° 40′ über demselben. In IV IV gibt es drei, in V V vier, und in VI VI fünf Knoten wie die Figur zeigt. Die Ketten oder die doppelten krummen Linien stellen die Intensität der elliptischen Polarisirung dar, deren Minimum in den Punkten 1, 2, 3 u. s. w., deren Maximum in der Mitte der nicht schattirten Theile ist. Bedient man sich des gleichartigen Lichtes, so bekommen die Ketten verschiedene Größe, je nach den verschiedenen Lichtstrahlen, und ihre Minima und Maxima sind dann verschieden. So hat man z. B. in dem VI. Quadranten CB 6 Ketten von allen verschiedenen Farben, C 1, 12, 23, 34 u. s. w., die sich bedecken, und durch ihre Vermischung die schönen complementären Farben erzeugen, von denen oben die Rede gewesen ist. Um diesen merkwürdigen Zweig der Polarisirung näher kennen zu lernen, verweisen wir den Leser auf die **Philosophical transactions** vom Jahre 1830 und auf das **Edinburgh Journal of science, new series No. VII.** und **VIII.** April 1831.

Achtundzwanzigstes Capitel.
Polarisirende Structur, erzeugt durch Wärme, Kälte, Druck, Ausdehnung und Abhärtung.

Die verschiedenen Phänomene der doppelten Brechung und das System polarisirter Ringe mit einer oder zwei Axen doppelter Brechung und mit Ebenen von nicht doppelter Brechung können durch eine vorübergehende oder permanente Wirkung hervorgebracht werden, die im Glase und andern Substanzen durch Kälte, Wärme, eine plötzliche Abkühlung, Druck, Ausdehnung und Erhärtung erzeugt werden.

I. Vorübergehender Einfluß der Wärme und Kälte.

§. 134.

1) Glascylinder mit positiver Axe doppelter Brechung.

Nimmt man einen Glascylinder von einem halben bis zu einem Zoll oder mehr Durchmesser und von einem halben Zolle oder mehr Dicke, und läßt man Wärme vom Umfange nach der Mitte zu gehn,

so gibt er, wenn man ihn in dem Apparate (Fig. 94) dem polarisirten Lichte aussetzt, ein Ringsystem mit schwarzem Kreuze ganz dem (Fig. 98) ähnlich, und das complementäre System (Fig. 99), wenn man die Platte B um 90° dreht. Man muß den Cylinder in einer Entfernung von 8 bis 10 Zoll vom Auge halten und man sieht dann die Ringe, als befänden sie sich im Innern des Glases. Bedeckt man einen bestimmten Theil der Oberfläche des Glascylinders, so verschwindet der correspondirende Theil der Ringe dergestalt, daß der Cylinder nur eine einzige Axe doppelter Brechung hat, welche in der Axe der Figur und nicht in jeder zu dieser Axe parallelen Lage liegt, wie bei den Krystallen. Durchschneidet man die Ringe mit einer schwefelsauren Kalkplatte auf die oben erwähnte Weise, so verschwächen sich die Farben der beiden Viertel, welche die Axe der Platte durchschneiden; folglich ist dies Ringsystem negativ wie beim Kalkspath.

So wie die Wärme die Axe des Cylinders erreicht, fangen die Ringe an ihre Helligkeit zu verlieren, und verschwinden gänzlich, sowie die Wärme sich gleichförmig durch den ganzen Cylinder ausgebreitet hat.

§. 135.

2) Glascylinder mit negativer Axe doppelter Brechung.

Wird ein ähnlicher Glascylinder gleichförmig in kochendem Oele erhitzt und zu einer sehr hohen Temperatur gebracht, und dann rasch abgekühlt, indem man seinen Umfang mit einem guten Wärmeleiter umgibt, so erhält man ein Ringsystem, welches verschwindet, sobald das Glas gleichförmig abgekühlt ist. Durchschneidet man diese Ringe mit schwefelsaurem Kalke, so findet man sie positiv, wie die Ringe des Eises und Zirkons, was auch daraus hervorgeht, daß wenn man dieses System mit dem vorigen verbindet, sich beide wechselseitig vernichten.

In diesen beiden Ringsystemen variirt der numerische Werth der Färbung oder die Farbe eines beliebigen Punktes mit dem Quadrate der Entfernung dieses Punktes von der Axe. Sehr schöne Systeme erhält man, wenn man dünne schwefelsaure Kalkplatten zwischen zwei dieser Systeme stellt.

§. 136.

3) Runde Glasplatten mit zwei Axen doppelter Brechung.

Stellt man die beiden vorstehenden Versuche mit einer ovalen

Glasplatte ABCD (Fig. 116) an, so zeigt diese in beiden Fällen zwei Axen doppelter Brechung. Die Hauptaxe, welche durch O geht, ist negativ, wenn der Umfang warm, und positiv, wenn er kalt ist. Die krummen Linien AB und CD entsprechen den schwarzen krummen Linien der (Fig. 101), und die Entfernung mn der Neigung der resultirenden Axen. Den in (Fig. 116) dargestellten Effekt erhält man, wenn mn gegen die Polarisationsebene unter 45° geneigt ist; liegt aber mn in der ursprünglichen Polarisationsebene oder steht senkrecht auf ihr, so bilden die krummen Linien AB und CD ein schwarzes Kreuz wie in Fig. 100.

In allen vorstehenden Versuchen hätte man die Erwärmung oder die Erkältung von jedem Ende aus nach der Axe des Cylinders oder der Platte zu gehen lassen können. Die Phänomene wären dann dieselben gewesen; nur würden die Achsen, die vorhin negativ waren, positiv geworden sein, und umgekehrt.

§. 137.

4) Glascuben mit doppelter Brechung.

Bei einem Glascubus haben die Ringe die Gestalt (Fig. 117) und wenn das Glas eine Parallelepipedum ist, was seine dreifache Breite zur Länge hat, so sind die Ringe wie (Fig. 118) gestaltet, wo die krummen Linien von gleichen Färbungen nahe an den Knoten Kreise sind, wie man in beiden Figuren sieht.

§. 138.

5) Rechtwinkliche Glasplatten in Verbindung mit Platten von nicht doppelter Brechung.

Stellt man eine rechtwinkliche Platte gut geölten Glases EFDC (Fig. 119) mit ihrem untern Rande CD auf eine fast roth glühende Eisenplatte AB und bringt man beide zusammen in den Apparat (Fig. 94) so, daß CD gegen die ursprüngliche Polarisationsebene unter 45° geneigt ist und das polarisitte Licht von jedem Punkte des Glases nach dem in E befindlichen Auge gelangen kann, so hat man folgende Phänomene. Sowie die Wärme die Fläche CD durchdringt, erblickt man Säume von lebhaften Farben, parallel zu CD, und beinahe zu gleicher Zeit, ehe die Wärme die obere Fläche EF oder auch nur die Centrallinie ab erreicht hat, ähnliche Säume in EF.

In ab erscheinen zuerst schwache blaue, dann weiße, gelbe, orange Farben, u. s. w. und diese Centralfarben sind von dem Rande durch

zwei schwarze Linien MN und OP getrennt, die weder doppelte Brechung noch Polarisation haben. Diese Linien entsprechen den schwarzen Curven (in Fig. 101 und 116); die Structur zwischen MN und OP ist negativ wie beim Kalkspathe, außerhalb MN und OP positiv wie beim Zirkon. Die so entwickelten Farben sind die der Newtonschen Tabelle, und bestehen aus verschiedenen Ordnungen von Farben, die jeder gleichartige Strahl des Spectrums gegeben haben würde.

Diese Platten haben offenbar eine unzählige Anzahl von Axen in Ebenen, welche durch MN und OP gehen, und man kann alle Farben sowie die doppelte Brechung unter den nöthigen Modificationen nach denselben Gesetzen ausrechnen, wie bei den regelmäßigen Krystallen.

Erhitzt man die Platte EFCD sehr gleichmäßig, so sind die Säume regelmäßiger und kommen rascher zum Vorschein; wird die Platte in Oel oder auf sonstige Weise erhitzt und dann gleichmäßig abgekühlt, so entwickelt sie dieselben Säume; nur sind dann die in der Mitte ab positiv und die andern in CD und EF negativ.

Aehnliche Wirkungen geben ähnliche Platten aus Steinsalz, Obsidian, Flußspath, Copal und andern Substanzen von nicht doppeltbrechender Structur.

Man erhält eine Reihe schöner Versuche, wenn man zwei ähnliche oder unähnliche Glasplatten nach Entwickelung ihrer Säume sich kreuzen läßt. Kreuzen sich ähnliche Platten entweder von Glas oder durch die Wärme hervorgebracht, wie in (Fig. 119), so sind die Linien von gleichen Färbungen in dem Durchschnittsquadrate ABCD (Fig. 120) Hyperbeln. Die Farbe des Mittelpunkts ist die Differenz unter den Centralfarben jeder Platte, und die Farben der successiven Hyperbeln erheben sich stufenweise nach der Scale über diese Centralfarbe. Sind die von jeder Platte hervorgebrachten Farben genau dieselben und die Platten von einerlei Größe, so vernichten sich die Centralfarben, die Hyperbeln werden gleichseitig und die Farben erheben sich stufenweise von Null der Newtonschen Tabelle an.

Kreuzen sich unähnliche Platten wie in (Fig. 121), von denen die eine durch Abkältung, die andere durch Erwärmung erzeugt ist, so sind die Linien gleicher Färbung in dem Durchschnittsquadrate ABCD Ellipsen. Die Farben im Mittelpunkte sind der Summe der einzelnen Farben, und die durch Verbindung der äußeren Säume entstandenen

Farben ihrer Differenz gleich. Sind die Platten und ihre Farben vollkommen gleich, so werden die Linien gleicher Färbungen zu Kreisen. Die Schönheit dieser Verbindungen begreift man nur durch colorirte Zeichnungen. Werden die Platten ihrer Länge nach verbunden, so vermindert sich ihr Effekt gegenseitig, je nachdem ähnliche oder unähnliche Säume zusammenkommen.

§. 139.

6) Kugeln von Glas u. s. w. mit unzählig vielen Axen doppelter Brechung.

Bringt man eine Glaskugel in ein gläsernes mit heißem Oel angefülltes Gefäß, und beobachtet das Ringsystem während des Uebergangs der Wärme zum Mittelpunkte der Kugel, so erblickt man ein regelmäßiges System ganz dem (Fig. 98) gleich, und dieses erleidet keine Aenderung, nach welcher Richtung hin man auch die Kugel drehen mag; die Kugel hat also unzählig viele positive Axen doppelter Brechung, längs jedes Durchmessers eine.

Bringt man eine sehr erwärmte Glaskugel in ein mit kaltem Oele angefülltes gläsernes Gefäß, so erhält man ein ähnliches System, dessen Axen aber negativ sind.

§. 140.

Glassphäroide mit einer einzigen Axe doppelter Brechung längs der Axe der Rotation, und mit zwei Axen längs der Aequatorialdurchmesser.

Bringt man ein an den Polen abgeplattetes Sphäroid in ein mit heißem Oel angefülltes gläsernes Gefäß, so findet sich, daß das Sphäroid eine positive Axe doppelter Brechung längs seiner kleinsten oder seiner Rotationsaxe hat; läßt man aber das polarisirte Licht längs eines seiner Aequatorial-Durchmesser durchgehen, so zeigen sich zwei Axen doppelter Brechung, wobei die schwarzen Curven wie in (Fig. 116), wenn die Rotationsaxe eine Neigung von 45° gegen die ursprüngliche Polarisationsebene hat, und in Gestalt eines Kreuzes erscheinen, wenn die Axe parallel oder senkrecht gegen die ursprüngliche Polarisationsebene ist.

Dieselben Phänomene gibt ein plattes Sphäroid, nur bildet sich dann das schwarze Kreuz nicht in der Ebene, in welcher die beiden Axen liegen.

Entgegengesetzte Ringsysteme erhält man in beiden Fällen, wenn man erwärmte Sphäroide in kaltes Oel taucht.

Man bedient sich des Oels, damit das polarisirte Licht ohne

Brechung durch die Kugeln und Sphäroide gehe. Deshalb muß auch das Oel ein Brechungsvermögen haben, was dem des Glases möglichst nahe kommt.

Eine Reihe merkwürdiger Erscheinungen erhält man, wenn man Röhren und Cylinder von Glas nach der Länge ihrer Axe erhitzt oder abkältet; es finden dann die merkwürdigsten Veränderungen statt, je nachdem die Erhitzung oder Erkältung vom Umfange, oder von der Axe, oder von beiden zugleich ausgeht.

§. 141.

8) Einfluß der Wärme auf regelmäßige Krystalle.

Der Einfluß einer gleichförmigen Erhitzung oder Abkühlung auf regelmäßige Krystalle ist sehr bemerkenswerth. Fresnel fand, daß die Wärme den schwefelsauren Kalk weniger in der Richtung seiner Hauptaxe, als in einer auf diese senkrechten Richtung ausdehnt; nach Mitscherlich dehnt sich der Doppelspath in der Richtung seiner doppelt brechenden Axe und in allen auf diese Axe senkrechten Richtungen aus, so daß es hier eine mittlere Richtung geben muß, in welcher weder Zusammenziehung noch Ausdehnung stattfindet. Die Wärme nähert die rhombische Gestalt des Doppelspaths der cubischen und vermindert seine doppelte Brechung.

Bei Erhitzung des schwefelsauren Kalks fand Mitscherlich, daß die beiden resultirenden Axen PP (Fig. 106) sich stufenweise nähern so wie die Wärme größer wird, in O zusammen fallen und eine einzige Axe bilden; bei noch größerer Wärme öffnen sie sich nach beiden Seiten gegen AB hin. Etwas Aehnliches und sehr Bemerkenswerthes fand ich am Glauberit, welcher eine Axe doppelter Brechung für Violet und zwei dergleichen für Roth hat. Bei einer Wärme unter der des kochenden Wassers verbinden sich die beiden Axen PP (Fig. 106) in O; durch eine geringe Vermehrung der Wärme trennen sie sich, die eine in die Richtung OA, die andere in die Richtung OB. Bei Abkältung geht die einzige Axe O für violettes Licht in zwei PP auseinander. Bei einer gewissen Temperatur bildet die violette Axe zwei Axen in der Ebene AB.

II. Permanenter Einfluß einer plötzlichen Abkältung.

§. 142.

Im Mai 1814 fand ich, daß geschmolzenes und dann sogleich abgekühltes Glas, wie z. B. die Glasthräne, eine permanente doppelt

brechende Structur besitze *); im December 1814 theilte Seebeck ähnliche Versuche an Glascuben mit. Man verfertigt Cylinder, Platten, Würfel, Kugeln und Sphäroide von Glas, indem man dieses bis zum Rothglühen erhitzt und dann seinen Umfang plötzlich abkühlt. Da diese festen Körper während der Operation zuweilen ihre Form verlieren, so wird dadurch die Symmetrie ihrer Structur gestört, und das System der Ringe oder Säume derangirt, so daß die Phänomene nicht mehr so vollkommen sind als bei dem vorübergehenden Einflusse der Wärme und Kälte; zuweilen muß man auch die Fläche poliren und dann wieder matt schleifen, wobei die Körper mitunter springen, weil die Theile einander Widerstand leisten.

Unzählige Abänderungen der schönsten optischen Figuren erhält man, wenn man Glas auf metallischen Patronen (die Metalle sind die besten Wärmeleiter) abkältet, die man symmetrisch auf jede Fläche des Glases oder auf dessen Umfang bringt. Man kann dann dem Glase die Wärme in Linien von verschiedener Form und Richtung nehmen, und seiner Structur sowie der beim Aussetzen des Glases in das polarisirte Licht erzeugten optischen Figur die größte Abwechslung geben.

§. 143.

Bei den doppelt brechenden Krystallen ist die Form der Ringe von der äußeren Krystallform unabhängig; in den Glaskörpern dagegen, die durch vorübergehende oder permanente Einwirkung der Wärme eine doppelt brechende Structur erhalten haben, hängen die Ringe gänzlich von der äußern Form des Körpers ab. Schneidet man die rechteckige Platte CDEF (Fig. 119) durch die Linie ab in zwei gleiche Theile, so hat jede Hälfte mit der ganzen Platte dieselbe Structur, eine negative und zwei positive, die durch zwei neutrale schwarze Linien getrennt sind. Schneidet man auf gleiche Weise eine Glasröhre durch einen Schnitt vom Umfange nach dem Mittelpunkte entzwei, oder ändert man die Form der Glascylinder und Glaskugeln so, daß sie eine andere äußere Figur erhalten, so bekommen die vorhin erzeugten optischen Figuren eine ganz andere Gestalt.

---

*) Philosophical transactions vom Jahre 1814, Brief an Joseph Banks vom 8. April 1814.

III. Einfluß des Druckes und der Ausdehnung.

§. 144.

Könnte man die genannten festen Körper mit derselben Leichtigkeit zusammendrücken und ausdehnen, mit der man sie erhitzen und abkälten kann, so würde man dieselben doppelt brechenden Structuren erhalten wie vorhin, wobei denn immer die Compression die entgegengesetzte Structur von der der Ausdehnung geben würde.

Der Einfluß des Druckes und der Ausdehnung leuchtet ein, wenn man eine Glasplatte ABDC (Fig. 122) mit den Händen biegt. Bringt man sie in den Apparat (Fig. 94), und gibt ihrer Kante AB eine Neigung von 45° gegen die ursprüngliche Polarisationsebene, so ist die ganze Breite des Glases mit farbigen Säumen bedeckt, welche aus einem negativen und positiven Systeme bestehen, die durch eine neutrale schwarze Linie MN getrennt sind.

Die Säume der convexen Seite AB sind negativ, die der concaven positiv. Eine größere Krümmung der Platte vermehrt die Zahl der Farben, eine geringere vermindert sie, und sowie die Glasplatte ihre anfängliche Gestalt wieder angenommen hat, verschwinden die Farben gänzlich. Die Farben sind die der Newton'schen Tabelle, und variiren nach ihrer Entfernung von MN. Kreuzen sich zwei solche Platten, wie (Fig. 122), so entstehen in dem Durchschnittsquadrate geradlinige Säume parallel zu der Diagonale des Quadrats, welche durch die Winkel geht, in denen sich die beiden concaven und die beiden convexen Seiten der Platten schneiden.

Kreuzt sich eine erhitzte und dann plötzlich abgekältete krystallisirte Platte mit einer gekrümmten Glasplatte, so erhält man im Durchschnittsquadrate Parabeln, deren Scheitelpunkt gegen die convexe Seite der gekrümmten Platte, wenn die Axe der andern Platte positiv, und gegen die convexe Seite gekehrt ist, wenn die Axe negativ ist.

Ganz deutlich sieht man die Wirkung der Compression und Dilatation, wenn man Würfel oder Cylinder aus Gallerte von Kalbsfüßen oder Hausenblase zusammendrückt oder ausdehnt.

Die Anwendung zusammendrückender oder ausdehnender Kräfte hat mich auch in den Stand gesetzt, die doppelt brechende Structur regelmäßig krystallisirter Körper nach jeder Richtung zu verändern, wodurch ich ihre Farben in der Richtung vermehrte oder verminderte, in welcher ich diese Kräfte wirken ließ *).

Den bemerkenswerthesten Einfluß übt die Compression auf eine Mischung von weißem Wachse und Harz aus. Ueberall wo eine doppelte Brechung künstlich erzeugt wird, beziehen sich die Phänomene auf die Form der Masse, welche die Veränderung erleidet; ich konnte der obigen Mischung eine doppelte Brechung mittheilen, ähnlich der in den Moleculen der Krystalle. Die comprimirte Masse hat eine einzige Axe doppelter Brechung in jeder parallelen Richtung, und die farbigen Ringe werden durch die Neigungen des gebrochenen Strahls gegen die Axe nach demselben Gesetze erzeugt, wie in regelmäßigen Krystallen. Nimmt man die comprimirte Schicht weg, so hat ein Theil eine doppelt brechende Axe, wie die Theile einer Krystallschicht mit einer einzigen Axe. Die hieraus abzuleitenden wichtigen Folgerungen behalten wir uns bis gegen das Ende des Werkes vor.

IV. Einfluß der Erhärtung.

§. 145.

Im Jahre 1814 hatte ich Gelegenheit, einige Versuche über die Erhärtung anzustellen, indem ich die doppelte Brechung weichen Körpern mittheilte. Trocknet man Hausenblase in einem kreisförmigen gläsernen Gefäße, so erhält man ein Ringsystem mit einem schwarzen Kreuze, gerade so wie bei einaxigen negativen Krystallen. Läßt man den Umfang einer cylinderförmigen Platte von Hausenblase hart werden, so gibt sie ein Ringsystem mit einer positiven Axe. Hat das Gefäß bei dem ersten Versuche und die Platte bei dem zweiten eine ovale Gestalt, so erblickt man zwei Axen doppelter Brechung.

Läßt man Gallerte in rechtwinklichen Glasformen stufenweise erhärten, so entwickelt sie eine positive und negative Structur, getrennt durch eine neutrale schwarze Linie. Nimmt man den Boden der Form weg, so daß die Erhärtung in zwei parallelen Flächen stattfindet, so erhält man dieselben Säume, wie mit einem Glasstücke, welches in Oel erhitzt und dann plötzlich abgekühlt ist.

Durch eine passende Erhärtung erhält man Kugeln und Sphäroide von Gallerte mit denselben Wirkungen, wie Kugeln und Sphäroide von Glas, die erhitzt oder abgekältet werden. Die Krystalllinsen fast sämmtlicher Thiere besitzen die doppelt brechende Structur. Bei einigen ist sie nur eine einzige, und gewöhnlich positiv; andere haben

---

*) Edinb. Transactions, vol. VIII. pag. 28.

deren zwei, eine positive und eine negative, mehrere drei, eine negative zwischen zwei positiven oder eine positive zwischen zwei negativen. Einige haben zwei Structuren von derselben Art. Durch den Prozeß der Erhärtung kann man die natürliche Structur der Linse, besonders wenn diese sphärisch oder sphäroidarisch ist, gänzlich vernichten, und zu der durch Erhärtung erzeugten Structur hinzufügen. Ich besitze die Sphäroidallinse der Bonite (boneto), welche ein schönes Ringsystem längs der Axe des Sphäroids und zwei längs der Aequatorialdurchmesser besitzt. Ich habe auch mehrere erhärtete Linsen vom Kabeljau, welche auf die schönste Weise ihre doppelt brechende Structur zeigen.

Neunundzwanzigstes Capitel.

Phänomene der zusammengesetzten oder facettirten Krystalle.

§. 146.

In sämmtlichen doppelt brechenden Krystallen von regelmäßiger Form ist die Trennung der Bilder, die Größe der Ringe und die Stärke der Farben in allen parallelen Richtungen völlig dieselbe. Sind aber zwei Krystalle so mit einander verwachsen, daß ihre Axen gegen einander geneigt sind, und schneidet man dann eine Platte dieser Krystalle ab, so daß das Auge sie von einer aus einem einzigen Krystalle geschnittenen Platte unterscheiden kann, so zeigt der Krystall im polarisirten Lichte seine zusammengesetzte Structur und läßt selbst seine Verbindungslinie wahrnehmen. Dies ist auch leicht begreiflich, weil der polarisirte Strahl verschiedene Neigungen gegen die Axe jedes Krystalls hat und bei verschiedenen Neigungen auch verschiedene Farben erzeugt. Die Untersuchung eines Körpers im polarisirten Lichte gibt uns also ein Mittel an die Hand, die Structur derselben kennen zu lernen, wenn dies mit Hülfe eines Mikroskops oder auf irgend eine andere Weise nicht möglich ist.

Eine gute Probe hat man am bipyramidalen schwefelsauren Natrum, welches der Graf von Bournon und andere Krystallographen als einen einfachen Krystall ansehen, dessen Grundform das bipyramidale Dodecaëder sein soll (Fig. 112). Schneidet man eine zur Axe der Pyramide senkrechte Platte ab und bringt diese in das polarisirte Licht, so zeigt sich, daß der Krystall aus mehreren dergestalt mit einander verbundenen Krystallen besteht, daß diese zusammen die regelmäßige Figur geben, welche in (Fig. 112) abgebildet ist. Der Krystall

hat zwei Axen doppelter Brechung, und die Ebene durch die beiden Axen des einen schließt mit der Ebene durch die beiden Axen jedes der zwei andern Krystalle einen Winkel von 60° ein, so daß wenn man die Platte neigt, jede der drei mit einander verbundenen Krystalle verschiedene Farben gibt. Ich habe mehrere derartige merkwürdige Structuren im Mineralreiche und unter den künstlichen Salzen gefunden; jedoch sind nur zwei interessant genug, um eine besondere Beschreibung zu verdienen.

§. 147.

Der Apophyllit von Faroë krystallisirt gewöhnlich in quadratigen Prismen unter rechten Winkeln, und spaltet mit der größten Leichtigkeit in Platten in auf die Axe des Prisma senkrechten Ebenen. Trennt man die obere oder untere Schicht mit einem scharfen Messer, so hat diese eine Axe doppelter Brechung und gibt das einzige Ringsystem (Fig. 98). Schneidet man auf dieselbe Weise andere Schichten ab, so geben diese im polarisirten Lichte die merkwürdige Structur mit Facetten (Fig. 123). Der äußere Theil **MONP** besteht aus einer Menge Platten oder parallelen Adern. In der Mitte hat man eine kleine Raute **abcd** mit einer doppelt brechenden Axe, und um diese vier Krystalle **A, B, C, D** mit zwei Axen doppelter Brechung; die Ebene durch die Axen **A** und **B** steht senkrecht auf der Ebene durch die Axen **B** und **C**; die erste liegt in der Richtung **MN**, die zweite in der Richtung **OP**.

Läßt man das polarisirte Licht durch die Flächen gewisser Krystalle gehen, so erhält man die schöne facettirte Figur 124, deren sämmtliche verschieden schattirte Theile mit den schönsten Farben glänzen. Da das Prisma überall gleiche Dicke hat, so variirt offenbar die doppelt brechende Kraft in den einzelnen Theilen des Krystalls; diese Variation ist jedoch so symmetrisch in Bezug auf die Seiten und die Ecken des Prisma, daß sie allen bekannten Gesetzen der Krystallographie Trotz bietet.

Um die Gestalt der Linien von gleichen Farben unterscheiden zu können, tauchte ich den Krystall in Oel, und ließ das polarisirte Licht parallel zu einer Diagonale des Prisma durchgehen. Die Wirkung ist in (Fig. 125) abgebildet; **ABDC** ist der Krystall; **AC** und **BD** sind die Kanten, wo die Dicke verschwindet, und mn ist die Kante, welche durch die Diagonale des Prisma geht. Wäre der Krystall re-

gelmäßig, so müßten die Linien von gleicher Farbe oder von gleicher doppelter Brechung gerade Linien parallel zu **AC** oder **BD** sein; im Apophyllit zeigen diese Linien jedoch sehr sonderbare Unregelmäßigkeiten, die sich indessen symmetrisch auf gewisse feste Punkte des Krystalls beziehen.

In der Mitte des Krystalls in gleicher Entfernung von **mn** hat man nur fünf Säume oder Farbenreihen; in gleichen Abständen von diesen hat man sechs Säume, und der sechste kehrt ovalförmig in sich selbst zurück. In zwei andern äquidistanten Punkten nahe bei **mn** sind der dritte, vierte und fünfte Saum regelmäßig gezähnt, der sechste und siebente dagegen biegen sich in Form eines Quadrates um; über diese Punkte hinaus bei **m** und **n** gibt es nur vier Säume, weil der fünfte in sich selbst zurückkehrt.

§. 148.

Eine sehr verschiedenartig zusammengesetzte, aber durch ihren Effekt höchst interessante Structur haben einige Stücke Doppelspath, die von ungleich dicken parallelen Schichten oder Adern wie in (Fig. 126) durchschnitten werden. Die dünnen Adern oder Schichten stehen senkrecht auf den kurzen Diagonalen **EF** und **GH** der Rhombusflächen, und sind parallel zu den Kanten **EG** und **FH**. Sieht man senkrecht durch die Flächen **AEBF** und **DGCH**, so geht das Licht nicht durch die Ebenen **ebcg**, **ABCD**, **afhd**, und man erblickt nur zwei Bilder des Gegenstandes, gerade als wären diese Ebenen nicht vorhanden. Sieht man aber durch eins der andern Paare von Parallelflächen, so erblickt man die gewöhnlichen Bilder in ihrer gewöhnlichen Entfernung, und zwei secundaire Bilder in einer größern Entfernung, auf jeder Seite der gewöhnlichen Bilder eins. Mitunter bekommt man vier und sechs secundaire Bilder, die in zwei Linien gereiht sind, von denen auf jeder Seite der gewöhnlichen Bilder eine liegt und senkrecht steht auf der Verbindungslinie zwischen ihren Mittelpunkten. Sind die Unterbrechungsebenen zahlreich, so zeigen sich, vorzüglich wenn sie senkrecht auf den beiden kurzen Diagonalen der beiden andern sich im stumpfen Winkel **B** schneidenden Rhombusflächen stehen, zahlreiche secundaire Bilder, die mitunter in Pyramiden von der höchsten Schönheit gereihet sind, verschwinden, wiedererscheinen, ihre Farbe und ihre Lichtstärke ändern bei jeder Neigung der Platte. Ist das Licht des leuchtenden Objects polarisirt, so zeigen die Phänomene außerdem noch

größere Variationen. Sind die Schichten oder Adern dick, so sind die Bilder nicht farbig, sondern begrenzt durch die Farben des gebrochenen Lichtes.

Malus betrachtete diese Phänomene als Erzeugnisse von Spalten oder natürlichen Rissen in dem Krystalle, und ihre Farben als die dünner Plättchen von Luft; ich fand jedoch, daß sie durch Adern oder durch Zwitterkrystalle erzeugt werden, die so fest mit einander verbunden sind, daß sie einer Kraft widerstehen, die ihre natürlichen Bruchflächen zu trennen vermag, und ich habe sie zugleich krystallographisch durch Messung der Winkel der Adern und optisch durch Beobachtung des bloß durch die Adern gesehenen Ringsystems beobachtet.

Man wird diese Structur aus (Fig. 127) kennen lernen; ABCD ist der Hauptdurchschnitt des Doppeltspathrhombus, AD seine Axe. Die Gestalt und Lage einer Durchschnittsader oder rhomboidalen Platte zeigt Mm Nn, aber viel dicker als sie in der Wirklichkeit ist. Die Winkel Am M und DnN betragen 141° 44′; fällt also ein gewöhnlicher Lichtstrahl Rb auf die Fläche AC in b ein, so wird er in die Richtungen bc und bd gebrochen. Bei ihrem Eintritte in die Ader Mm Nn in c und d werden dann die Strahlen abermals doppelt gebrochen; da aber die Ader dünn genug ist, um durch die Interferenz der beiden Lichtbüschel, welche jeden der Büschel ce und df bilden, die complementären Farben des polarisirten Lichtes zu erzeugen, so hängen diese Farben von der Dicke der Ader MN und von der Neigung des Lichtstrahls gegen die Axe der Platte MN ab. Die doppelten Büschel treten aus der Ader in den Punkten e und f heraus und werden abermals, wie die Figur zeigt, in die Richtungen em, en, fo, fp gebrochen, wo die Farben von en und fo die complementären von em und fp sind. Man kann deutlich beweisen, daß die Vermehrung und die Farben der Bilder aus den vorhin erwähnten Gründen herrühren; ich spaltete Kalkspathrhomben und brachte zwischen sie oder zwischen die Spaltflächen eines einzigen Stückes eine dünne Schicht schwefelsauren Kalk oder Glimmer. Dann erhält man alle Phänomene des facettirten natürlichen Krystalls mit dem künstlichen Krystalle, und kann denselben eine große Abwechslung geben, wenn man dünne Schichten in verschiedenen Azimuthen um die polarisirten Lichtbüschel bc und ba und unter verschiedenen Neigungen gegen die doppelt brechende Axe einbringt.

Der zusammengesetzte Krystall (Fig. 127) ist in der That ein natürlicher Polarisations-Apparat. Der Theil AmNC des Rhombus polarisirt das einfallende Licht Rb; die Ader MN ist die dünne krystallisirte Platte, deren Farben untersucht werden sollen, und der Theil BN und D ist der Zerlegungsrhombus.

Mehrere andere künstliche Mineralien und Krystalle werden von ähnlichen Adern durchschnitten und geben dieselben Phänomene. Es gibt einige zusammengesetzte Krystalle, deren Structur bemerkenswerthe Eigenthümlichkeiten zeigt und welche durch die Polarisation des Lichts sonderbare Phänomene entwickeln. Einer der merkwürdigsten ist der brasilianische Topas, dessen Eigenthümlichkeiten ich im 2. Theile der Transactions of Cambridge in colorirten Abbildungen mitgetheilt habe.

Die Eigenschaften der zusammengesetzten Krystalle und die Vermehrung der Bilder durch Kalkspathkrystalle die von Adern durchschnitten werden, findet man in den Edinburgh Transactions, vol. IX. pag. 137, in den Philosophical Transactions von 1815, pag. 270 und in der Edinburgh Encyclopedie, Artikel Optik.

Dreißigstes Capitel.

Dichroismus oder Doppelfarbe der Körper; Absorption des polarisirten Lichtes.

§. 149.

Hat ein krystallisirter Körper verschiedene Farben in verschiedenen Richtungen, wenn das gewöhnliche Licht durch ihn durchgelassen wird, so sagt man von ihm, er besitze die Eigenschaft des Dichroismus (doppelte Farbe). Wollaston bemerkte diese Eigenschaft schon vor längerer Zeit an dem köchsalzsauren Palladium, welches längs der Axe dunkelroth und in einer transversalen Richtung hellgrün aussieht.

Cortier bemerkte dieselben Farbenveränderungen an einem Minerale, dem s. g. Jolit, welches Hauy Dichroit nennt. Herschel beobachtete etwas Aehnliches an dem unterschwefelsauren Eisen, welches blutroth längs der Axe und mattgrün in einer auf die Axe senkrechten Richtung ist. Bei Untersuchung dieser Phänomene fand ich, daß sie von der Absorption des Lichts herrühren; sie richten sich nach der Neigung des einfallenden Strahls gegen die doppelt brechende Axe und nach dem Farbenunterschiede der durch doppelte Brechung gebildeten Lichtbüschel.

In einem gelben Doppelspathrhombus war das ungewöhnliche Bild orangegelb, während das gewöhnliche Bild längs der Axe weißgelblich war. Die Farbe und die Intensität der beiden Büschel war dieselbe, und die Differenz der Farben und der Intensität vermehrte sich mit der Neigung der Axe. Bedecken sich die beiden Bilder, so war ihre combinirte Farbe dieselbe für alle Neigungen der Axe und zwar die des Minerals. Bringt man den Rhombus in polarisirtes Licht, so ist seine Farbe orangegelb in der Lage, worin das gewöhnliche, und gelblich weiß in der Lage, worin das ungewöhnliche Bild verschwindet. Die Krystalle nachstehender Tabelle besitzen dieselben Eigenschaften, indem die gewöhnlichen und ungewöhnlichen Bilder die neben ihnen stehenden Farben haben.

Farben der beiden Bilder in den einaxigen Krystallen.

Namen der Krystalle.	Hauptschnitt in der Polarisationsebene.	Hauptschnitt senkrecht auf die Polarisationsebene.
Zirkon	bläulichweiß	dunkelbraun
Saphir	gelblichgrün	blau
Rubin	blaßgrün	hellrosenroth
Smaragd	gelblichgrün	bläulichgrün
desgl.	bläulichgrün	gelblichgrün
Beryll	bläulichweiß	blau
= grüner	weißlich	bläulichgrün
= gelblichgrüner	blaßgelb	blaßgrün
Bergkrystall beinahe durchsichtig	weißlich	schwach braun
= = gelber	gelblichweiß	gelb
Amethyst	blau	rosenroth
desgl.	graulichweiß	rubinroth
desgl.	röthlichgelb	bläulichgrün
Turmalin	grünlichweiß	bläulichgrün
Rubellit	röthlichweiß	schwach roth
Idocras	gelb	grün
Mellit	gelb	bläulichweiß
Agatit lilafarbig	bläulich	röthlich
= olivengrün	bläulichgrün	gelblichgrün
Phosphorsaures Blei	hellgrün	orangegelb
Doppelspath	orangegelb	gelblichweiß
Octaedrit	weißlichbraun	gelblichbraun.

§. 150.

Haben die Krystalle zwei Axen doppelter Brechung, so erzeugt die Absorption der einfallenden Lichtstrahlen eine Menge Erscheinungen auf und neben den beiden Axen, welche sehr schön am Iolit sich zeigen. Dies Mineral, welches in Prismen von sechs und zwölf Kanten

krystallisirt, ist dunkelblau in der Richtung der Axe und bräunlichgelb in einer auf die Axe senkrechten Richtung. Sieht man an den resultirenden Axen entlang, deren Neigung 62° 50′ beträgt, so erblickt man bei einer dünnen Platte ein hinlänglich deutliches Ringsystem; ist die Platte aber dick und liegt die Ebene durch die Axe in der ursprünglichen Polarisationsebene, so sieht man Aeste von blauem und weißem Lichte vom Mittelpunkte des Ringsystems aus kreuzförmig divergiren. Dieser merkwürdige Effekt ist in (Fig. 128) dargestellt; P, P′ sind die Mittelpunkte der beiden Ringsysteme, O ist die negative Hauptaxe des Krystalls, und CD die Ebene durch die Axe. Die blauen (in der Figur schattirten) Aeste sind an ihren Spitzen P, P′ purpurroth gefleckt, und in einigen Exemplaren durch weißes, in andern durch bläuliches Licht getrennt. Von P und P′ nach O zu wird das weiße oder gelbliche Licht immer mehr blau; in O ist es gänzlich blau; von P und P′ nach C und D zu wird es immer mehr gelb; in C und D ist es völlig gelb, und das Gelb ist in der auf die Hauptaxe O senkrechten Ebene fast gleichmäßig hell. Steht die Ebene CD senkrecht auf der ursprünglichen Polarisationsebene, so sind die Pole P und P′ weiß oder gelblich gefleckt, an allen übrigen Stellen aber ist das Licht dunkelblau.

Stellt man den Versuch mit gemeinem Lichte an, so ist das gewöhnliche Bild in C und D bräunlich gelb, das ungewöhnliche schwach blau, indem das erste einige blaue Strahlen, das zweite einige gelbe von C nach D und von A nach B aufnimmt, wo noch ein großer Unterschied in der Farbe der Bilder stattfindet. Das gelbe Bild wird schwächer von A nach P und P′, und von B nach P und P′; das schwache blaue Bild wird allmählich durch andere blaue Strahlen verstärkt, bis die beiden blauen Bilder beinahe gleiche Intensität haben. Das blaue Bild vermehrt seine Intensität von C nach P und von D nach P′; das gelbe nimmt einen Theil des blauen Lichtes auf, und wird von P und P′ nach O zu bläulich weiß; das gewöhnliche Bild ist weißlich, das andere dunkelblau, die Weiße nimmt jedoch gegen O zu ab, wo die Bilder fast blau sind. Die folgende Tabelle zeigt, daß mehrere andere Krystalle diese Eigenschaft besitzen.

Farben der beiden Bilder in doppelaxigen Krystallen.

Namen der Krystalle.	Ebene der Axe in der Polarisationsebene.	Ebene der Axe senkrecht auf die Polarisationsebene.
Topas, blauer	weiß	blau
= grüner	weiß	grün
= bläulichgrüner	röthlichgrau	blau
= rosenrother	rosenroth	weiß
= rosenrothgelber	rosenroth	gelb
= gelber	gelblichweiß	orange
Schwefelsaurer Baryt		
= gelblichpurpurrother	citrongelb	purpurroth
= gelber	citrongelb	gelblichweiß
= orangegelber	gummiguttgelb	gelblichweiß
Cyanit	weiß	blau
Dichroit	blau	gelblichweiß
Cymophan	gelblichweiß	gelblich
Epidot, olivengrün	braun	meergrün
= weißgrün	rosenrothweiß	gelblichweiß
Glimmer	rothbraun	röthlichweiß

Die folgende Tabelle enthält die Farben der Bilder in den bisher noch nicht untersuchten doppeltaxigen Krystallen.

Namen der Krystalle.	Axe des Prisma in der Polarisationsebene.	Axe des Prisma senkrecht auf die Polarisationsebene.
Glimmer	blutroth	blaßgrünlichgelb
Essigsaures Kupfer	blau	grünlichgelb
Kochsalzsaures Kupfer *)	grünlichweiß	blau
Olivin	bläulichgrün	grünlichgelb
Sphen	gelb	bläulich
Salpetersaures Kupfer	bläulichweiß	blau
Chromsaures Blei	orange	blutroth
Staurotid	bläulichroth	gelblichweiß
Augit	blutroth	hellgrün
Anhydrit	hellroth	blaßgelb
Axinit	röthlichweiß	gelblichweiß
Diallage	bräunlichweiß	weiß
Schwefel	gelb	dunkelgelb
Schwefelsaurer Strontit	blau	bläulichweiß
= Kobalt	rosenroth	ziegelroth
Olivin	braun	bräunlichweiß.

Bei den neun letzten Krystallen dieser Tabelle sind die Farben nicht in Bezug auf eine feste Linie angegeben.

Die nachstehende Tabelle enthält die Farben der beiden Büschel von Krystallen, in denen man die Zahl der Axen noch nicht kennt.

*) Die Farben sind in Bezug auf die kurze Diagonale seiner rhomboidalen Basis angegeben.

Namen der Krystalle.	Axe des Prisma in der Polarisationsebene.	Axe des Prisma senkrecht auf die Polarisationsebene.
Phosphorsaures Eisen	schönblau	bläulichweiß
Actynolit	grün	grünlichweiß
Opal	gelb	schwachgelb
Serpentin	dunkelgrün	schwachgrün
Asbest	grünlich	gelblich
Blaues kohlensaures Kupfer	violetblau	grünlichblau
Octaedrit (einaxig)	weißlichbraun	gelblichbraun
Gold- u. Natrium-Chlorür	citrongelb	dunkelorange
Ammoniumchlorür	citrongelb	dunkelorange
Potassiumchlorür	citrongelb	dunkelorange.

§. 151.

Durch Anwendung der Wärme auf gewisse Krystalle erhielt ich eine permanente Differenz in der Farbe der beiden durch doppelte Reflexion gebildeten Lichtbüschel. Sehr leicht sind diese Versuche mit dem brasilianischen Topas anzustellen. Bei einem solchen Topas, dessen einer Büschel gelb, der andere rosenroth war, wirkte die Rothglühhitze kräftiger auf den ungewöhnlichen als auf den gewöhnlichen Büschel, indem sie das Gelb des ersten Büschels gänzlich vernichtete und das Rosenroth des zweiten nur sehr wenig veränderte. Als der Topas erhitzt war, gab er gar keine Farben; bei seiner Erkältung aber wurde er allmählich rosenroth, und diese Farbe konnte durch die stärkste Hitze nicht modificirt werden. In einigen Topasen, deren Büschel dieselbe Farbe hatten, nahm die Hitze dem einen Büschel mehr Farbe als dem andern, und theilte ihnen dadurch das Vermögen mit, das Licht in Bezug auf die Axen der doppelten Brechung zu absorbiren.

§. 152.

Allgemeine Bemerkungen über die doppelte Brechung.

Die in dem vorhergehenden Capitel mitgetheilten Thatsachen setzen uns in den Stand, den Ursprung und die Beschaffenheit der doppelt brechenden Structur auf eine sehr wahrscheinliche Weise zu erklären. Die Molecule der durch Wärme flüssig gewordenen Körper, die keinen festen Körper bilden, haben keine doppelte Brechung; eben so verhält es sich mit den Moleculen der krystallisirten Körper, welche Metalle im Zustande der Auflösung enthalten. Sowie aber die Erkältung im einen und die Verdunstung im zweiten Falle den Moleculen gestaltet, sich vermöge ihrer gegenseitigen Affinität zu vereinigen, so erlangen diese Molecule durch Einwirkung der sie verbindenden

Kräfte die doppelt brechende Structur. Diese Thatsache läßt sich auf doppelte Weise erklären, entweder indem man annimmt, daß die Atome die doppelt brechende Structur für sich haben, oder daß dieses nicht der Fall ist. Bei der ersten Annahme muß man das Verschwinden der doppelten Brechung in der flüssigen Masse und in der Auflösung einer entgegengesetzten Wirkung der Atome zuschreiben, die in jeder Richtung eine Axe haben müssen; da aber die doppelte Brechung nicht sichtbar hervortritt, so ist die Annahme viel wahrscheinlicher, daß die Atome die doppelte Brechung nicht besitzen. Bei der zweiten Hypothese, nach welcher die Atome keine doppelt brechende Structur haben, begreift man leicht, auf welche Weise sie durch den Druck zweier durch Attraction verbundener Atome hervorgebracht werden können, indem jedes Atom eine doppelt brechende Axe in der Richtung der Verbindungslinie zwischen ihren Mittelpunkten hat, gerade als würden die Atome durch einen mechanischen Druck zusammengepreßt. Durch Verfolgung dieser Idee, was an einem andern Orte geschehen ist, *) habe ich bewiesen, wie man die verschiedenen Phänomene durch verschiedene Attractivkräfte dreier rechtwinklicher Axen erklären könne, die eine einzige negative, eine einzige positive, oder zwei positive oder negative, oder eine positive und eine negative Axe erzeugen können. Hiernach erklärt sich die Einwirkung der Wärme auf den schwefelsauren Kalk, indem sie die Intensität der beiden Axen verändert, und die eine seiner Axen vernichtet oder eine neue erzeugt.

---

*) **Philosophical Transactions**, Jahrgang **1829, vol. VI. pag. 328** und **337. Edinburgh Journal of Science, new series.**

Dritter Abschnitt.

Anwendung der optischen Principien auf die Erklärung der Phänomene der Natur.

Einunddreißigstes Capitel.

Die ungewöhnliche Strahlenbrechung.

§. 153.

Unsere atmosphärische Luft ist eine transparente Gasmasse, die das Vermögen der Lichtbrechung besitzt. Aus Barometerbeobachtungen erhellet, daß ihre Dichtigkeit sich von der Erdoberfläche an allmählich verkleinert. Da nun direkten Versuchen zufolge die brechende Kraft der Luft sich mit ihrer Dichtigkeit vergrößert, so muß erstere ihr Maximum unmittelbar an der Oberfläche der Erde haben und sich allmählich vermindern, bis die Luft so dünn geworden ist, daß sie auf das Licht fast gar nicht mehr wirkt. Fällt daher ein Lichtstrahl schräg in ein Medium, dessen Dichtigkeit auf diese Weise veränderlich ist, so muß er statt sich plötzlich in seiner Richtung abzubrechen, allmählich immer mehr und mehr gekrümmt werden, so daß er sich auf diese Weise in einer krummen Linie bewegt, als bestände das Medium aus unzählig vielen Schichten von verschiedenen brechenden Kräften. Es sei **E** (Fig. 129) die Erde, umgeben von ihrer Atmosphäre **ABCD**, die aus vier concentrischen Schichten bestehen mag, welche verschiedene Dichtigkeit und verschiedene brechende Kraft haben.

Der Brechungsexponent der Luft an der Erdoberfläche ist 1,000294, für die drei übrigen Schichten mag er 1,000200, 100120 und 1,000050 sein. **BCD** sei der Horizont und **Sn** ein Lichtstrahl, welcher von der unter dem Horizont befindlichen Sonne im Punkte **n**

auf die äußere Luftschicht fällt, deren Brechungsexponent 1,000050 ist. Man ziehe das Loth **Enm** und suche nach der früher aufgestellten Regel den zum Einfallswinkel **Snm** gehörigen Brechungswinkel **Ena.** Fällt der Lichtstrahl **na** im Punkte **a** auf die zweite Schicht, deren Brechungsexponent 1,000120 ist, so findet sich auf dieselbe Weise durch Fällung des Lothes **Eap** der gebrochene Strahl **ab.** Eben so erhält man die gebrochenen Strahlen **bc** und **ed.** Ein und derselbe Strahl **Sn** wird also in der gemischten Linie **nabcd** gebrochen, und da er das Auge in der Richtung **cd** erreicht, so sieht man die Sonne in der Richtung **DcS'** über dem Horizonte, wenn sie sich auch noch unter demselben befindet, oder noch nicht aufgegangen ist. Auf dieselbe Weise erhebt die Brechung der Atmosphäre die Sonne über den Horizont, wenn sie bei ihrem Untergange sich schon unter demselben befindet.

Im leeren Raume und in allen Mediis von gleichförmiger Dichtigkeit bewegen sich die Lichtstrahlen in gerader Linie; dagegen müssen auf der Oberfläche der Erde die von einem entfernten Körper herkommenden Lichtstrahlen in krummen Linien fortgehen, weil sie die Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit und verschiedenen brechenden Kräften zu durchschneiden haben. Daraus folgt, daß man kein Object außerhalb oder innerhalb unsers Luftkreises, keinen Planeten und Fixstern an seinem wahren Orte erblickt, außer wenn das Object sich in der Vertikallinie befindet.

Astronomische und trigonometrische Beobachtungen abgerechnet, welche die größte Schärfe erfordern, so ist die atmosphärische Brechung von keinem weitern Belange; da aber die Dichtigkeit und die brechende Kraft der Luft sich bedeutend verändert, wenn diese sich erhitzt oder abkühlt, so erzeugt eine große Hitze und eine große Kälte bedeutende Veränderungen in der brechenden Kraft, wodurch sehr interessante optische Phänomene zum Vorschein kommen. Man hat diesen Erscheinungen den Namen der ungewöhnlichen Brechung gegeben; sie sind mitunter so auffallend, daß sie mehr durch Zauberei als durch natürliche Kräfte hervorgebracht zu sein scheinen.

§. 154.

Die Erhebung der Küsten, der Berge und Schiffe, die man über der Oberfläche des Meeres sieht, ist sehr oft beobachtet worden und hat den Namen E r h e b u n g oder S e e g e s i c h t erhalten. H u d d a r t

beschreibt mehre Fälle dieser Art, vorzüglich aber das umgekehrte Bild eines Schiffes, welches unter dem wirklichen Schiffe gesehen wurde. Vince beobachtete zu Ramsgate ein Schiff, dessen Maste sich erst allein über dem Horizonte zeigten; zugleich erblickte er im Gesichtsfelde des Fernrohres, dessen er sich bediente, zwei vollständige Bilder des Schiffes in der Luft, beide über dem Schiffe, von denen das obere ein aufrechtes, das untere ein verkehrtes war. Als er hierauf sein Fernrohr gegen ein anderes Schiff kehrte, dessen Körper gerade im Horizonte erschien, sah er ein vollständiges umgekehrtes Bild, welches mit seinen Masten die des wirklichen Schiffes berührte. Diese beiden Phänomene sind in den Figuren 130 und 131 dargestellt; **A** ist das Schiff, **B** und **C** sind die durch ungewöhnliche Brechung erzeugten Bilder. Bei Betrachtung eines andern Schiffes erblickte Vince die umgekehrten Bilder von einigen Theilen desselben, welche plötzlich zum Vorschein kamen und verschwanden; »sie erschienen zuerst unten,« sagt er, »erhoben sich dann äußerst rasch in die Höhe, zeigten mehr oder weniger von den Masten, so wie sie zum Vorschein kamen und glichen durch die Geschwindigkeit ihrer Erscheinung den Strahlen eines Nordlichts.« So wie das Schiff ans Land kam, vergrößerte sich das Bild mehr und mehr und wurde ein vollständiges Bild, wobei die Masten sich berührten. Je näher das Schiff dem Lande kam, desto mehr entfernte sich das Bild; man erblickte jedoch kein zweites. In einem andern Falle (Fig. 131) sah Vince das Meer zwischen den beiden Schiffen **B** und **C**. So wie das Schiff **A** sich über den Horizont erhob, verschwand das Bild **C** allmählich, und während dieser Zeit stieg das Bild **D** dem Lande näher, das Schiff kam aber nicht so nahe an den Horizont, daß die beiden Masten sich berührten. Die beiden Bilder waren auch noch dann sichtbar, als das Schiff sich ganz unter dem Horizonte befand.

Der Capitain Scoresby beobachtete im grönländischen Meere mehre Fälle der ungewöhnlichen Brechung. Am 28. Juni 1820 sah er von der Spitze des Mastes aus 18 Schiffe in einer Entfernung von ungefähr 12 englischen Seemeilen. Das eine war verlängert in vertikaler Richtung, das andere in eben dieser Richtung zusammengedrückt; ein anderes hatte ein umgekehrtes Bild über sich, zwei andere hatten unter diesem zwei deutliche Bilder, welche von zwei Bildern von Eisschichten begleitet wurden.

Im Jahre 1822 erkannte Scoresby das Schiff seines Vaters, die Renommée, an dem umgekehrten Bilde desselben in der Luft, obgleich das wirkliche Schiff sich unter dem Horizonte befand. Das Schiff war 17 Meilen unterm Horizonte und 30 Meilen von ihm entfernt. In allen diesen Fällen lag das Bild gerade über dem Objecte. Am 17. Septbr. 1818 beobachteten dagegen Jurine und Soret einen Fall der ungewöhnlichen Brechung, wo das Bild sich seitwärts vom Objecte befand. Es näherte sich aus einer Entfernung von 4000 Toisen eine Barke der Stadt Genf auf der linken Seite des Sees; zu gleicher Zeit sah man über dem Wasser ein Bild der Segel, welches, statt der Richtung der Barke zu folgen, sich davon entfernte und auf der rechten Seite des Sees sich der Stadt zu nähern schien, indem das Bild von Westen nach Osten, die Barke dagegen von Westen nach Süden ging. Das Bild hatte mit dem Objecte einerlei Größe, als es sich von der Barke entfernte, wurde aber kleiner und kleiner und war beim Verschwinden nur halb so groß als die Barke.

Während des Feldzuges der Franzosen in den sandigen Wüsten Aegyptens beobachteten sie mehre Phänomene der ungewöhnlichen Brechung, denen sie den Namen der Luftspiegelung (mirage) gaben. Als die Sandfläche durch die Sonne erhitzt war, schien die Erde in einer gewissen Entfernung durch eine allgemeine Ueberschwemmung heimgesucht zu sein. Die auf hohen Punkten liegenden Dörfer hatten das Ansehen von eben so vielen Inseln mitten in einem großen See, und jedes Dorf wurde von seinem umgekehrten Bilde begleitet. So wie die Armee sich den Grenzen der scheinbaren Ueberschwemmung näherte, zog sich der eingebildete See zurück, und bei dem nächsten Dorfe fand dieselbe Täuschung statt. Monge, welcher diese Erscheinungen in seinen Memoiren über Aegypten beschrieben hat, leitet sie von der Zurückstrahlung einer reflexionsfähigen Fläche her, welche er zwischen zwei Luftschichten von verschiedenen Dichtigkeiten annimmt. Der merkwürdigste Fall der Luftspiegelung wurde von Vince wahrgenommen. Ein Beobachter zu Ramsgate sah auf einer Höhe zwischen Ramsgate und Dover die Spitzen von vier Thürmen des Schlosses von Dover; am 6. August 1806, 7 Uhr Nachmittags, sah Vince das ganze Schloß von Dover, als wäre es auf die Seite der

Höhe gesetzt, welche gegen Ramsgate zu liegt. Das Bild war so stark, daß man die Höhe durch dasselbe nicht sehen konnte.

Offenbar sind die berühmten **fata morgana** in der Meerenge von Messina, die während mehrer Jahrhunderte den großen Haufen in Erstaunen und den Physiker in Verlegenheit gesetzt haben, eine ähnliche Erscheinung. Ein Beobachter, welcher auf einer Höhe der Stadt Reggio den Rücken der Sonne und das Gesicht dem Meere zukehrt, erblickt, wenn die Sonne scheint und auf dem Punkte steht, daß ihre Strahlen auf das Meer von Reggio unter einem Winkel von 45° einfallen, auf dem Wasser eine unzählige Menge Pilaster, Bogen, gut gezeichnete Schlösser, regelmäßige Säulengänge, hohe Thürme, schöne Paläste mit Balkons und Fenstern, Dörfer und Bäume, Wiesen mit Herden, Menschenmassen zu Fuß und zu Pferde, wobei das Ganze schnell über das Meer hingeht. Bei besondern Zuständen der Atmosphäre erblickt man dieselben Gegenstände in der Luft, aber nicht so lebhaft, und wenn die Atmosphäre neblicht ist, so sieht man sie auf der Oberfläche des Wassers schön colorirt und mit prismatischen Farben umrändert.

§. 155.

Es läßt sich durch mehre Versuche zeigen, daß diese Erscheinungen durch die Reflexion der Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit hervorgebracht werden. Zu diesem Zwecke goß Wollaston in eine viereckige Phiole (Fig. 132) eine kleine Menge hellen Syrop und über denselben eben so viel Wasser, welches sich allmählich mit dem Syrop verband, wie in **A**. Das Wort Syrop, welches auf ein hinter der Flasche befindliches Papier geschrieben war, erschien aufrecht, wenn es durch den reinen Syrop, und verkehrt, (wie in der Figur), wenn es durch die Mischung von Wasser und Syrop gesehen wurde. Als Wollaston hierauf eine beinahe gleiche Menge rectificirten Weingeist in **B** eingoß, zeigte sich der Effect, welchen die Figur darstellt; das Wort Alcohol erschien an seinem wahren Platze und ein verkehrtes und aufrechtes Bild desselben unterhalb.

Aehnliche Phänomene kann man erhalten, wenn man Objecte über die Oberfläche einer erhitzten Schaufel, oder längs einer Mauer oder eines bemalten Brettes betrachtet, welche von der Sonne erhitzt werden.

Blackadder hat mehre sehr instructive Phänomene der Verti=

cal- und Seiten-Luftspiegelung beschrieben, die auf der Bastion König Georg zu Leith gesehen wurden. Der ausgedehnte Wall, dessen centralen Theil diese Bastion ausmacht, ist aus großen Sandsteinblöcken gebaut; auf der Ostseite diesen Bastion sieht man das schönste dieser Phänomene. Im Westen des Thurmes dehnt sich der Wall in gerader Linie bis in eine Entfernung von 500 Fuß aus, er ist auf der Erdseite 8 Fuß hoch mit einem 2 Fuß breiten und 3 Fuß hoch über der Erde liegenden Wege. Die Brüstung ist oben 3 Fuß breit, und hat eine sanfte Neigung nach dem Meere zu.

Bei günstiger Witterung gleicht die Spitze der Brustwehr einem Spiegel oder vielmehr einer Eisfläche; geht dann eine Person auf ihr spatzieren, so sieht der in einiger Entfernung stehende Beobachter ein umgekehrtes Bild derselben. Befindet er sich auf dem Wege und eine zweite Person in einiger Entfernung von ihm mit dem Gesichte nach dem Meere zugekehrt, so steht sein Bild vor dieser, und es sieht dann aus, als wenn zwei Personen sich zusammen unterhalten oder einander anreden. Sieht er, während er sich auf dem Wege befindet, von dem Thurme abwärts, und eine andere Person geht auf dem Ostende des Walles über das Schutzbrett hin nach dem Meere zu oder von demselben her, so glaubt er zwei Personen sich in entgegengesetzter Richtung bewegen zu sehen; man sieht dann zuerst die eine fortschreiten und dann in einigem Abstande die andere in entgegengesetzter Richtung. Sieht man über die Brustwehr weg, so gestalten sich die entfernten Objecte auf verschiedene Weise; die Berge (von Fife) sind in ungeheure Brücken verwandelt; geht man an das Ostende des Walles, so nimmt dieser eine sonderbare Gestalt an; ein Theil nämlich scheint abgeschnitten und niedergedrückt zu sein, so daß er einen kleinen hübschen Thurm bildet, wie man wohl die Denkmäler auf Kirchhöfen hat. Ein anderes Mal scheint er genau einem antiken Altare zu gleichen, dessen Flamme recht lebhaft brennt *).

§. 156.

Um so viel möglich auf eine deutliche Weise zu erklären, wie das aufrechte oder verkehrte Bild eines Schiffes in (Fig. 131) entstehen könne, sei SP (Fig. 133) ein im Horizont befindliches Schiff, welches in E mittelst der Strahlen SE, PE gesehen wird, die in gerader Linie

*) Edinburgh Journal of science, No. V. pag. 13.

durch eine zwischen dem Auge und dem Schiffe befindliche Luftmasse von gleichförmiger Dichtigkeit durchgehen. Ist die Luft in c dünner als in a, was wegen der Frische des Meeres der Fall sein kann, so ist die brechende Kraft in c kleiner als in a; in diesem Falle werden die Lichtstrahlen Sd, Pc, die unter den gewöhnlichen Umständen niemals zu den in E befindlichen Augen hätten gelangen können, in die krummen Linien Pc und Sa gebogen. Wenn dann die Dichtigkeit sich so ändert, daß der obere Strahl Sa den untern in einem Punkte x schneidet, so liegt Sa unterwärts, und gelangt in's Auge, als käme er von dem untern Endpunkte des Objektes her. Sind Ep und Es Tangenten an die krummen Lichtstrahlen in dem Punkte, wo diese in's Auge gelangen, so wird der Theil S des Schiffes in der Richtung Es, und der Theil P in der Richtung Ep gesehen; das Bild sp ist alsdann ein verkehrtes. Auf dieselbe Weise können andere Lichtstrahlen Sm und Pm in die sich nicht schneidenden Richtungen SnE und PmE gekrümmt werden, so daß die Tangente Es an den krummen Lichtstrahl Sn oben und die Tangente Ep' unten liegt. Auf diese Weise erblickt dann das in E befindliche Auge in s'p' ein aufrechtes Bild über dem verkehrten sp (Fig. 131).

Es ist klar, daß der Zustand der Luft auch nur eins dieser Bilder erzeugen kann, und daß alle diese Phänomene zum Vorschein kommen können, wenn das wirkliche Schiff sich unter dem Horizonte befindet.

Bei einer der Beobachtungen von Scoresby war, wie oben bemerkt ist, ein Schiff in der vertikalen Richtung vergrößert oder verlängert, während ein anderes in derselben Richtung verkleinert oder zusammengedrückt war. Sollte, was sehr wahrscheinlich ist, eine Ursache existiren, die das Schiff zu gleicher Zeit horizontal und vertikal verlängert, so würde diese Ursache wie eine Converlinse wirken und das Schiff vergrößern; dies könnte dann weit über die gewöhnliche Gesichtsweite hinaus gesehen werden. In der That scheint dieser Fall sich ereignet zu haben; am 26. Juli 1798 sah Latham zu Hastings 5 Uhr Nachmittags die 40 bis 50 Meilen weit entfernten Küsten von Frankreich eben so deutlich als mit dem besten Fernglase. Die Seeleute und Fischer konnten sich zuerst von der Wirklichkeit der Erscheinung nicht überzeugen; als aber die Küsten sich höher und höher

erhoben, überzeugten sie sich so gut, daß sie Latham die Gegenden zeigten, die sie gewöhnlich zu besuchen pflegten, z. B. die Bay und die Mühle von Boulogne, St. Valery und andere Gegenden auf der Küste der Picardie. Alle diese Gegenden hatten das Ansehen, als lägen sie in einiger Entfernung im Meere. Von dem östlichen Felsen aus sah Latham zu gleicher Zeit Dungeneß, die Felsen von Dover, und die französischen Küsten von Calais und Boulogne bis St. Valery, und wie einige Fischer behaupteten, bis Dieppe. Der Tag war sehr heiß ohne den mindesten Wind, und die in einiger Entfernung befindlichen Gegenstände erschienen stark vergrößert.

Man kann sich eine Vorstellung von dieser Art von Phänomenen machen, wenn man, wie ich an einem andern Orte auseinandergesetzt habe *), eine erhitzte Eisenmasse über eine bedeutend dicke Wasserschicht hält, die sich in einem gläsernen Gefäße aus parallelen Glasplatten befindet. Zieht man dann das erhitzte Eisen zurück, so ist die nach unten zu sich vergrößernde Dichtigkeit von einer Verminderung der Dichtigkeit an der Oberfläche begleitet, und ein solches Medium zeigt die Phänomene der Luftspiegelung.

§. 157.

Es scheint mir außer Zweifel zu sein, daß mehrere der ungewöhnlichen Brechung zugeschriebene Erscheinungen von einer ungewöhnlichen Reflexion herrühren, die in dem Dichtigkeits-Unterschiede ihren Grund hat. Wenn ein über der Atmosphäre in S (Fig. 129) befindlicher Beobachter eine wie in der Figur zusammengesetzte Masse Schichten von verschieden brechenden Kräften betrachtete, so müßte offenbar das Sonnenlicht bei seinem Durchgange durch die Grenzen jeder Schicht reflektirt werden; dasselbe würde stattfinden, wenn die brechende Kraft sich vollkommen continuirlich änderte. Es mangelt bis jetzt an genau beschriebenen Thatsachen dieser Art, um darauf die Gesetze der Reflexion anwenden zu können; indessen ist nachstehendes von Buchan beobachtete Factum so bestimmt, daß es keinen Zweifel über seinen Ursprung übrig läßt. »Ich ging«, sagt dieser, »am 18. November 1804 des Morgens auf dem Felsen eine Meile im Westen von Brigthon, und betrachtete den Aufgang der Sonne; ich hatte beide Augen dem Meere zugekehrt, im Augenblicke als die Sonnenscheibe sich aus der Wasser-

*) Edinburgh Encyclopedie, Artikel Wärme.

fläche erhob, und ich sah den Vordertheil des Felsens, auf dem ich stand, in einiger Entfernung von mir auf dem Ocean. Als ich meine Begleiter auf diese Erscheinung aufmerksam machte, sah ich zugleich unsere eigenen Bilder auf der Spitze des falschen Felsens, sowie auch das Bild einer nahe liegenden Mühle. Die reflektirten Bilder waren der Gegend gegenüber, in welcher wir uns befanden, sehr deutlich, und der falsche Felsen schien, sowie er sich weiter gegen Westen entfernte, zu verschwinden und dem wirklichen Felsen näher zu kommen. Die Erscheinung dauerte fast 10 Minuten, bis die Sonne beinahe um ihren Durchmesser höher gestiegen war; dann schien sich das Ganze in die Luft zu erheben, und verschwand allmählich, wie wenn man den Vorhang eines Theaters aufzieht. Die Fläche des Meeres war mit einem dicken Nebel mehre englische Ellen hoch bedeckt; sie wurden allmählich von den Sonnenstrahlen vertrieben, welche gegen die Felsen unter einem Winkel von 73°, vom Lothe angerechnet, einfielen.

Zweiunddreißigstes Capitel.

Der Regenbogen.

§. 158.

Bekanntlich ist der Regenbogen ein heller Bogen, der sich von einem Theile des Himmels bis an den entgegengesetzten ausdehnt. Unter sehr günstigen Umständen sieht man zwei Bogen, einen äußern und einen innern, oder den secundären und den primären; man hat auch noch wohl überzählige Bogen, außerhalb des primären, in Berührung mit ihm, oder außerhalb des secundären wahrgenommen.

Der primäre oder innere Regenbogen, den man gewöhnlich allein erblickt, ist der Bogen eines Kreises, dessen Radius 41° beträgt. Er besteht aus siebenfarbigen Bogen; diese sind das Violet zu unten, Indigo, Blau, Grün, Gelb, Orange und Roth auswendig. Die Farben haben dieselbe verhältnißmäßige Breite wie die farbigen Räume im prismatischen Spectrum. Der Regenbogen ist daher nur eine unendliche Anzahl von prismatischen Farbenbildern, die in dem Umfange eines Kreises neben einander gereiht sind, und man könnte leicht durch eine kreisförmige Zusammenstellung von Prismen oder durch Bedeckung aller centralen Theile einer Linse einen kleinen Regenbogen erzeugen, der aus denselben Farben bestände. Zur Hervorbringung eines Regenbogens ist also nur eine Menge transparenter Körper nöthig, die fähig,

sind, eine hinlängiiche Anzahl prismatischer Farbenbilder im Sonnenlichte zu erzeugen.

Da man in der Regel den Regenbogen nur dann erblickt, wenn zwischen dem Beobachter und dem der Sonne entgegengesetzten Theile des Himmels Regen fällt, so wird man zu dem Glauben gezwungen, daß die Regentropfen, welche bekanntlich die Kugelform haben, die genannten transparenten Körper sind. Sieht man durch eine Glas- oder Wasserkugel, die sich zwischen dem Auge und der Sonne befindet, so erblickt man ein prismatisches Spectrum, was durch den vom Auge am weitesten abliegenden Theil der Kugel reflektirt wird. In diesem Spectrum ist das Violet inwendig und das Spectrum ist vertical. Befindet sich die Kugel horizontal und in einerlei Niveau mit dem Auge, so daß man das reflektirte Sonnenlicht in der Horizontalebene erblickt, so sieht man ein horizontales Spectrum, das Violet inwendig. Wird die Kugel zwischen beiden genannten Lagen in die Mitte gebracht, so daß das Sonnenlicht in einer unter 45° gegen den Horizont geneigten Ebene reflektirt wird, so erblickt man ein Spectrum gegen den Horizont unter 45° geneigt, das Violet inwendig. Da man nun während des Regens Wassertropfen in jeder Richtung gegen das Auge erhält, so sieht man Farbenbilder, die unter allen möglichen Winkeln gegen den Horizont geneigt sind und zusammengenommen das große kreisförmige Spectrum geben, welches den Regenbogen bildet.

Der größeren Deutlichkeit halber seien E, F (Fig. 134) Wassertropfen, die dem Sonnenlichte ausgesetzt sind, welches in den Richtungen RE, RF auffällt. Von der auf den Tropfen fallenden Lichtmasse werden die durch die Mitte oder an der Axe des Tropfens durchgehenden Strahlen in einem hinter ihm liegenden Focus gebrochen; von denen aber, die auf den obern Theil des Tropfens fallen, werden die rothen am wenigsten, die violetten am stärksten gebrochen, und fallen auf die Rückseite des Tropfens schräg genug auf, so daß einige von ihnen wie in der Figur reflektirt werden. Die Strahlen werden nochmals gebrochen und gelangen in das Auge in C, welches ein prismatisches Spectrum mit dem Roth nach oben und dem Violet nach unten erblickt. Befindet sich die Sonne und das Auge mit dem Tropfen E, F, in einerlei Vertikalebene, so bildet das von E, F erzeugte Spectrum die Farben der Spitze des Bogens wie in der Figur. Be-

findet sich aber ein Tropfen nahe am Horizonte, so daß das Auge, der Tropfen und die Sonne in einer gegen den Horizont geneigten Ebene liegen, so wird der Sonnenstrahl auf dieselbe Weise wie E und F reflektirt, nur ist die Reflexionsebene gegen den Horizont geneigt; er bildet dann einen Theil des von dem Scheitel entfernten Bogens. Daraus erhellet, daß die Regentropfen, welche über der Linie zwischen dem Auge und dem Scheitel des Bogens und in der Ebene durch das Auge und die Sonne liegen, den obern Theil des Bogens, und die Tropfen die rechts und links vom Beobachter und außer der Verbindungslinie zwischen dem Auge und dem untern Theile des Bogens liegen, den untern Theil des Bogens auf jeder Seite bilden. Es trägt also kein Tropfen zwischen dem Auge und dem inwendigen Raume etwas zur Erzeugung des Regenbogens bei, so daß wenn der Regen regelmäßig aus der Wolke herunterfiele, der Regenbogen sichtbar würde, ehe ein einziger Tropfen zur Erde fiele. Eine Brechung der Neigung des rothen und violetten Strahls gegen die einfallenden Strahlen RE und RF gibt diese zu 42° 2′ für Roth und zu 40° 17′ für Violet an; die Breite des Regenbogens ist also gleich der Differenz dieser Zahlen oder 1° 45′ und folglich $3\frac{1}{2}$ Mal so groß als der Durchmesser der Sonne. Diese Resultate stimmen so schön mit den Beobachtungen überein, daß es außer Zweifel ist, der primäre Regenbogen werde durch zwei Brechungen und durch eine inzwischen vorgegangene Reflexion der auf den obern Theil der Regentropfen fallenden Sonnenstrahlen erzeugt.

Es ist einleuchtend, daß die rothen und violetten Strahlen eine zweite Reflexion in den Punkten erleiden, wo sie den Tropfen verlassen; diese reflektirten Strahlen verlieren sich im Himmelsraume und können das in O befindliche Auge nicht erreichen. Es gilt dies jedoch nur für Strahlen, die wie E und F in den obern oder in den vom Auge am entferntesten liegenden Theile des Tropfens eintreten; diejenigen dagegen, die in den untern oder in den dem Auge am nächsten liegenden Theil eintreten, können nach zwei Reflexionen in's Auge gelangen, wie in den Tropfen H und G, wo die Strahlen R und R von unten einfallen. Dann werden die rothen und violetten Strahlen in verschiedenen Richtungen gebrochen und gelangen nach zwei Reflexionen gebrochen in das in O befindliche Auge, wobei das Violet den obern und das Roth den untern Theil des Spectrums bildet. Rechnet man

den Neigungswinkel dieser Strahlen gegen die einfallenden Strahlen R, R, so findet er sich zu 50° 58′ für Roth, und zu 54° 10′ für Violet; die Differenz 3° 10′ ist die Breite des Bogens und der Abstand beider Bogen beträgt 8° 15′. Daraus ist klar, daß sich außerhalb des primären Regenbogens ein secundärer bildet, dessen Farben die umgekehrten von dem ersten sein müssen, weil sie durch zwei Reflexionen und durch zwei Brechungen erzeugt werden. Der secundäre Bogen ist beinahe doppelt so breit als der primäre, und seine Farben sind viel schwächer, weil bei ihm das Licht zwei Reflexionen erlitten hat.

§. 159.

Newton fand den Radius des innern Bogens zu 32°, seine Breite zu 2° 10′ und seinen Abstand vom äußern Bogen zu 8° 10′. Diese Resultate stimmen so genau mit den berechneten überein, daß sie keinen Zweifel über die Richtigkeit der eben angeführten Erklärungsart übrig lassen. Will man jedoch eine noch größere Evidenz, so findet sich diese in der im Jahre 1812 von mir beobachteten Thatsache, daß das Licht der beiden Bogen vollkommen polarisirt wird in Ebenen, die durch das Auge und die Radien der Bogen gehen.

Dies zeigt, daß die Bogen durch die Reflexion von der Fläche eines transparenten Körpers unter dem Polarisationswinkel oder nahe dabei gebildet werden. Die Erzeugung künstlicher Regenbogen durch den Nebel eines Wasserfalls oder durch die Tropfenmenge eines fortgeschleuderten Wasserstrahls oder einer Spritze ist ein neuer Beweis der obigen Erklärungsart. Man erblickt zuweilen Regenbogen vom Monde, sie sind jedoch schwach und kaum wahrnehmbar. 1814 sahe ich zu Bern einen Regenbogen im Nebel, er glich einem nebligen Bogen, und seine Farben waren unsichtbar.

§. 160.

Am 5. Juli 1828 beobachtete ich drei überzählige Bogen in dem primären, von denen jeder aus rothen und grünen Bogen bestand und mit dem Violet des primären Bogens in Berührung war. Außerhalb des äußern oder secundären Bogens erblickte ich deutlich einen rothen Bogen, und darüber einen sehr schwachen Bogen, welcher einen ähnlichen überzähligen Bogen bildete, wie die im Innern des primären Regenbogens.

Halley hat bewiesen, daß ein durch drei Reflexionen von Wassertropfen gebildeter Bogen die Sonne in einer Entfernung von 40° 20′, der durch vier Reflexionen gebildete sie in einer Entfernung von 45° 33′ umkreiset. Die durch fünf Reflexionen erzeugten Bogen sind theilweise durch den secundären Bogen bedeckt. Das Licht dieser drei Bogen ist nicht stark genug, um auf unsere Gesichtsorgane wirken zu können, weshalb man denn auch nie solche Regenbogen gesehen hat.

Es sind mehrere besondere Regenbogen gesehen und beschrieben worden. Am 10. August 1655 sah man zu Chartres einen schwachen Regenbogen, welcher den primären Regenbogen im Scheitel durchschnitt; er rührte von einer Reflexion des Flusses her.

Am 6. August 1698 bemerkte Halley beim Spatzierengehn auf den Wällen von Chester einen merkwürdigen Regenbogen, welcher (Fig. 135) abgebildet ist; **ABC** ist der primäre, **DHE** der secundäre und **AFHGC** ein dritter Regenbogen, welcher den secundären **DHE** schneidet und in drei beinahe gleiche Theile theilt. Die Punkte **E** und **G** rückten in die Höhe und der Bogen **FG** zog sich allmählich zusammen, bis die Bogen **FG** und **FGH** ganz in einander fielen, wodurch denn der secundäre Regenbogen auf einem großen Raume seine Farben verlor, und am Scheitel wie ein weißer Bogen aussah. Der neue Bogen **HAC** hatte seine Farben wie der primäre, also umgekehrt wie der secundäre Bogen liegen, wodurch die beiden entgegengesetzten Farbenbilder in **FG** sich vernichteten und Weiß gaben. Die Sonne schien dabei auf den Fluß Dee, der ganz ruhig war. Halley fand, daß der Bogen **HAC** nur ein Theil vom Kreise des primären Bogens war, der durch die Reflexion des Flusses aufwärts gekrümmt wurde. Im Journale von Rozier ist ein zwischen den beiden gewöhnlichen Regenbogen wahrgenommener, mit diesen nicht concentrischen dritten Regenbogen beschrieben; dies Phänomen ist unstreitig einerlei mit dem von Halley beobachteten.

Man hat auch rothe, unförmliche, auf dem Grase ausgebreitete Regenbogen gesehen. Die letzteren werden gebildet durch Wassertropfen, die sich an den Spinngeweben in den Feldern aufhängen.

Dreiunddreißigstes Capitel.

Höfe, Ringe, Nebensonnen und Nebenmonde.

§. 161.

Stehen Sonne und Mond am heitern hellen Himmel, so zeigen sich ihre Scheiben ohne Farbenveränderung und ohne besondere Lufterscheinungen. Bei andern Zuständen der Atmosphäre dagegen ändern diese beiden Gestirne nicht nur ihre Farbe, sondern sind auch von einer Menge leuchtender Kreise umgeben, die verschiedene Größe und Gestalt haben. Ist die Luft mit trockenen Dünsten geschwängert, so hat die Sonne oft ein blutrothes Ansehen. Sieht man sie durch wässerige Dünste, so ist sie ihrer Strahlen beraubt, behält jedoch ihre weiße unfarbige Scheibe; in einem andern Zustande der Atmosphäre habe ich sie oft in der lebhaften Farbe des Salms erblickt. Ziehen dünne krause Wolken vor der Sonne oder dem Monde vorbei, so zeigen sich mitunter ein, zwei, drei und selbst mehrere farbige Ringe ähnlich denen dünner Plättchen; bei kalter Witterung, wenn gefrorne Theilchen in den höchsten Regionen herumschwimmen, sind die beiden Gestirne häufig mit den complicirtesten Phänomenen umgeben, mit concentrischen Ringen, mit Ringen, die durch ihre Scheibe gehen, mit Kreissegmenten und mit Nebensonnen, welche in den Durchschnittspunkten dieser verschiedenen Kreise gebildet werden.

Man nennt alle diese Phänomene, mögen sie an der Sonne oder am Monde erscheinen, im Allgemeinen, Höfe. Werden sie von der Sonne erzeugt, so heißen sie Nebensonnen, werden sie vom Monde erzeugt, Nebenmonde. Die kleinen Höfe, welche Sonne und Mond bei guter Witterung auf den dünnen krausen Wolken bilden, womit sie theilweise bedeckt sind, heißen auch Ringe. Sie zeigen sich sehr häufig an der Sonne, sind aber wegen des großen Glanzes der Sonnenstrahlen leichter durch die Reflexion in ruhig stehendem Wasser wahrzunehmen.

Im Juni 1692 beobachtete Newton durch die Reflexion einer in einem Gefäße enthaltenen ruhigen Wassermasse drei farbige Ringe um die Sonne, die drei kleinen Regenbogen ähnlich waren. Die Farbe des innern Ringes war blau bei der Sonne, roth nach auswärts und weiß in der Mitte zwischen dem Blau und Roth. Der zweite Ring war purpurroth und blau nach innen, blaßroth nach außen zu, und grün in der Mitte. Der dritte Ring war blaßblau nach innen

und blaßroth nach außen zu. Die Farben und die Durchmesser dieser Ringe sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

		Durchmesser
Erster Ring	Blau, Weiß, Roth	5° bis 6°
Zweiter Ring	Purpurroth, Blau, Grün, Blaßgelb, Roth	$10\frac{1}{4}$°
Dritter Ring	Blaßblau, Blaßroth	12° 33′

Am 19. Februar 1664 sah Newton einen Hof von zwei Ringen um den Mond, die folgende Dimensionen hatten:

		Durchmesser.
Erster Ring	Weiß, Bläulich, Grün, Gelb, Roth	3°
Zweiter Ring	Blau, Grün, Roth	$5\frac{1}{2}$°

Newton sieht die Ringe als Erzeugnisse des durch kleine Wassertropfen gehenden Lichtes an, auf dieselbe Weise wie die Farben dünner Platten entstehen. Nimmt man die Wasserkügelchen von $\frac{1}{500}$ Zoll Durchmesser an, so müssen die Durchmesser der Ringe nach Newton's Berechnung folgende sein:

	Durchmesser.
Erster Ring	$7\frac{1}{4}$°
Zweiter Ring	$10\frac{1}{4}$°
Dritter Ring	12° 33′

Die Ringe vergrößern sich, sowie die Wasserkügelchen sich verkleinern, und verkleinern sich, wenn die Wasserkügelchen sich vergrößern.

Die gewöhnlichsten Höfe um Sonne und Mond haben 47° und 94° Durchmesser. Um davon eine klare Idee zu geben, wollen wir einen Hof um die Sonne, und einen Hof um den Mond genauer beschreiben.

Folgendes ist der Originalbericht von einer Nebensonne, die 1630 von Scheiner gesehen wurde.

§. 162.

Der Durchmesser des zunächst an der Sonne liegenden Kreises MQN (Fig. 136) betrug 45°, und der Durchmesser des Kreises ORP 95° 20′; sie waren gefärbt wie im Regenbogen, nur lag das Roth an der Sonne und die übrigen Farben in der natürlichen Reihefolge. Alle Bogen waren gleich breit und zwar beinahe $\frac{1}{3}$ vom Durchmesser der Sonne; nur weiß ich nicht genau anzugeben, ob nicht vielleicht der zum Horizonte parallele weißliche Kreis breiter war als das Uebrige.

Die beiden Nebensonnen M und N waren hinlänglich hell, O und P waren es nicht so sehr. M und N hatten eine purpurrothe Farbe nach der Sonne und eine weiße nach allen übrigen Seiten zu; O und P waren überall weiß. Sie verschwanden nicht zugleich, sondern P, welches nur sehr schwach glänzte, verschwand zuerst und wurde mit einigen dicken Wolken bedeckt. Die Nebensonne O blieb lange Zeit, obgleich sie schwach war. Die beiden Nebensonnen M und N dauerten drei Stunden; M war matt und verschwand zuerst nach einigen Zuckungen; N blieb dann wenigstens noch eine Stunde. Obgleich ich sie nicht verschwinden sah, so hatte ich mich doch überzeugt, daß sie die einzige war, welche die Sonne lange Zeit begleitete, und den Wolken und Dünsten Trotz bot, welche die übrigen ausgelöscht hatte. Sie verschwand jedoch bei einem Gußregen. Das Phänomen dauerte wenigstens $4\frac{1}{2}$ Stunde und da ich es schon vollständig wahrnahm, so mag es wohl über 5 Stunden gedauert haben.

Die Nebensonnen Q und R lagen in der Verticalebene, die durch das in F befindliche Auge und die in G befindliche Sonne ging; in dieser Ebene schnitten oder berührten sich die Bogen HRC und ORP. Sie waren bald heller, bald schwächer als die übrigen, jedoch nicht so vollkommen rücksichtlich ihrer Gestalt und ihrer weißlichen Farbe. Ihre Größe und Farbe änderte sich nach der Temperatur der in G befindlichen Sonne und der Materie, welche sie in Q und R aufnahm; deshalb war denn auch ihr Licht und ihre Farbe fast fortwährend unbestimmt, gleichsam in beständiger Bewegung. Vorzüglich bemerkte ich noch, daß sie, N ausgenommen, die ersten und letzten der Nebensonnen waren.

Der Bogen des kleinen Hofes MN nahe bei der Sonne schien dem Auge ein einziger Ring zu sein, war aber verworren, von ungleichem Durchmesser, nicht fortwährend continuirlich, sondern vielmehr in beständiger Bewegung. Er bestand in der That aus vier Bogen, wie sie die Figur zeigt, und ich habe ihn zu diesem Zwecke vorzüglich genau beobachtet *). Diese Bogen schneiden sich in einem Punkte Q und bilden daselbst eine Nebensonne. Die Nebensonnen M und N erzeug-

---

*) Die vier Kreise, welche durch ihre Schnittpunkte den innern Hof bilden, sind aus vier Mittelpunkten beschrieben, welche in den Ebenen eines kleinen Quadrats liegen.

ten sich in den Durchschnittspunkten des innern Hofes und des weißlichen Ringes NGMP.

§. 163.

Am 30. März 1660 Morgens beobachtete Hevelius zu Danzig den Nebenmond, welcher (Fig. 137) abgebildet ist. Der Mond A war umgeben von einem völlig weißlichen Kreise BCDE, in welchem sich zwei Nebenmonde B und D, einer auf jeder Seite des Mondes befanden, die aus verschiedenen Farben zusammengesetzt waren und auf Augenblicke einen langen Schweif von weißem Lichte ausstießen. Nach zwei Stunden umgab noch ein breiterer Kreis den vorigen und dehnte sich bis in den Horizont aus.

Die Scheitel beider Kreise waren Tangenten an andere farbige Kreise, die umgekehrten Regenbogen glichen. Der untere Kreis in C war ein Theil eines breiten Kreises, der obere in F ein Theil eines schmälern. Das Phänomen verschwand nach drei Stunden, der große äußere Kreis zuerst, dann der umgekehrte Bogen C; dann der obere kleinere Bogen, und endlich der ganze innere Kreis BCDE. Der Durchmesser dieses innern Kreises, sowie der des obern Bogens betrug 45°, der Durchmesser des äußern Kreises und des innern Bogens 90°.

Bei einer andern Gelegenheit beobachtete Hevelius ein breites rechtwinkliches weißes Kreuz, welches durch die Mondscheibe ging; der Mond lag im Mittelpunkte des Kreuzes, und war von einem Hof umgeben, der ganz dem innern Kreise (Fig. 137) glich.

§. 164.

Da man oft Höfe von 47° und 94° bei kaltem Wetter und vorzüglich in der mitternächtlichen Gegend der Erdkugel wahrnimmt, so hält man sie für Erzeugnisse von Eis- und Schneekrystallen, die in der Luft schwimmen. Descartes schrieb sie der Brechung platter Sterne von transparentem Eise zu. Huygens, welcher sich praktisch und theoretisch mit diesem Gegenstande beschäftigte, stellte eine vernünftige Theorie der Höfe auf, in welcher er das Dasein von großen Hagelkörnern voraussetzt, von denen einige rund, andere walzenförmig sein sollen, mit einem dunkeln Kerne, der in einem gewissen Verhältnisse zu dem Uebrigen steht. Er nimmt an, daß diese Cylinder eine verticale Lage haben, in der sie von aufsteigenden Luft- und Dunstströmen erhalten werden, und daß ihre Bogen in allen möglichen Lagen gegen den Horizont kommen, wenn sie durch den Wind oder eine

andere Ursache zerstreut werden. Er glaubt, daß diese Cylinder zuerst eine kugelförmige Vereinigung von den weichsten und reinsten Theilen des Schnees sind, daß sich dann an dem Boden andere Theile ansetzen, daß aber die aufsteigenden Luftströme das Ansetzen an den Seiten verhindern, wodurch sie dann eine cylinderförmige Gestalt bekommen. Ferner setzte er voraus, daß der äußere Theil des Cylinders von der Sonnenhitze geschmolzen werden kann, so daß nur ein kleiner Cylinder in der Mitte übrig bleibt, und daß derselbe, wenn der geschmolzene Theil von Neuem gefriert, eine hinlängliche Transparenz besitzt, um die Sonnenstrahlen auf regelmäßige Weise zu brechen und zu reflectiren. Mit Hilfe dieses Apparats, dessen Vorhandensein gar nicht unmöglich ist, hat Huygens eine schöne Auflösung aller der Schwierigkeiten gegeben, denen man bei der Erklärung der Höfe begegnet.

Newton glaubte, der Hof von 45° werde von einer andern Ursache erzeugt als die kleinen prismatischen Ringe, nämlich durch eine gewisse Art von Hagel oder Schnee, der horizontal in der Luft schwimmt und dessen Brechungswinkel 58 bis 60° ist.

Bedenkt man indeß, wie sehr verschieden die krystallinischen Formen sind, die das Wasser beim Gefrieren annimmt, wie die Krystalle in dem transparenten Zustande wirklich vorhanden sind unter der Form von Eiskrystallen, welche die Haut wie Nadeln stecken, wie einfache und zusammengesetzte Krystalle von allen denkbaren Gestalten aus der Atmosphäre niederfallen und in ihren tiefsten und wärmsten Schichten mitunter schmelzen, so bedarf es nicht der Annahme von Cylindern, um die Hauptphänomene der Höfe zu erklären.

Mariotte, Young, Cavendish und Andere schreiben den Hof von 45° oder 46° Durchmesser der Brechung von Eisprismen zu, die einen Brechungswinkel von 46° haben, und diesen beim Umherschwimmen in der Luft in alle mögliche Richtungen bringen. Die Krystalle des Reifes haben ähnliche Winkel, und wenn man die Abweichung der gebrochenen Lichtstrahlen, die von der Sonne oder dem Monde auf solche Prismen einfallen, mit dem Brechungsexponenten des Eises zu 1,31 ausrechnet, so findet sie sich zu 21° 50′, wovon das Doppelte 43° 40′ sind. Zur Erklärung des größten Hofes nimmt Young an, daß die schon von einem Prisma gebrochenen Lichtstrahlen auf andere Prismen fallen, und daß dann die Wirkung durch eine zweite Brechung verdoppelt werden kann, wodurch man eine

Abweichung von 90° erhielte. Dies ist aber durchaus unwahrscheinlich, und Young gesteht selbst die große Wahrscheinlichkeit der Annahme von Cavendish, daß der äußere Hof durch die Brechung von rechtwinklichen Begrenzungen der Krystalle erzeugt werden könne. Bei einem Brechungsexponenten von 1,31 gibt diese Annahme eine Abweichung von 45° 44′, also einen Durchmesser von 91° 28′; das Mittel aus den sorgfältig vorgenommenen Messungen gibt 91° 40′, was sehr genau mit einander übereinstimmt.

Die Existenz eines Prisma mit derartigen rechtwinklichen Begrenzungen ist freilich hypothetisch; allein diese Schwierigkeit habe ich dadurch gehoben,* daß ich in dem Reife auf Steinen, Blättern und Holze einfache und zusammengesetzte quadranguläre und regelmäßige Eiskrystalle gefunden habe.

Obgleich im Allgemeinen die Höfe als Kreise dargestellt sind, deren Mittelpunkte die Sonne oder der Mond ist, so ist doch ihre scheinbare Form gewöhnlich ein unregelmäßiges Oval, was unten breiter als oben ist, indem die Sonne näher am obern als am untern Ende steht. Smith zeigte indeß, daß dies eine optische Täuschung sei, zu welcher die scheinbare Form des Himmelsgewölbes beiträgt, und er vermuthet, daß, wenn der Kreis den Horizont berührt, sein vertikaler scheinbarer Durchmesser von dem Monde im Verhältnisse von 2 zu 3 oder von 3 zu 4, und sein durch den Mond gezogener horizontaler Durchmesser ungefähr im Verhältnisse von 4 zu 3 getheilt werde.

Um zu erfahren, ob etwa einige Höfe sich durch Reflexion bilden, habe ich sie mit doppelt brechenden Prismen untersucht und gefunden, daß ihr Licht keine Reflexion erleidet.

Die Entstehung der Höfe kann man durch Versuche nachweisen, wenn man verschiedene Salze auf Glasplatten krystallisiren läßt, und dann durch diese Platten das Licht der Sonne oder auch ein Kerzenlicht betrachtet. Ist die Krystallisation körnig und passend gebildet, so erhält man die schönste Wirkung. Einige Tropfen einer gesättigten Zinnauflösung z. B. so auf eine Glasplatte ausgebreitet, daß sie ruhig krystallisiren, bedecken dieselbe mit einer Kruste aus platten octaedrischen Krystallen, die dem Auge kaum sichtbar sind. Bringt man dann das Auge hinter die reine Seite des Glases, und betrachtet durch dasselbe und durch die krystallisirte Alaunschicht einen leuchtenden Körper, so sieht man um die Quelle des Lichts in verschiedenen Entfernungen

drei schöne Höfe. Der innere Hof, welcher der weißeste ist, wird durch die Brechung der Strahlen an den beiden Flächen der Krystalle gebildet, welche am wenigsten geneigt gegen einander sind; der zweite Hof, welcher auswärts blau und inwendig roth ist und alle prismatischen Farben hat, entsteht durch die beiden Krystallflächen, die eine größere Neigung gegen einander haben; der dritte Hof, der breit und durch eine stärkere Brechung und Zerstreuung brillant colorirt ist, wird von den Krystallflächen gebildet, die am stärksten gegen einander geneigt sind. Da jeder Alaunkrystall drei Paare von jedem seiner eingeschlossenen Prismen hat, und da ihre brechenden Flächen sich in allen denkbaren Lagen gegen den Horizont befinden, so ist leicht zu begreifen, wie die Höfe vollständig und überall gleich stark leuchtend sein können. Haben die Krystalle eine doppelte Brechung und steht ihre Axe senkrecht auf den Glasplatten, so erzeugt sich eine noch schönere Verbindung.

§. 165.

Unter den Lichterscheinungen muß hier noch die Convergenz und Divergenz der Sonnenstrahlen angeführt werden. Fig. 138 stellt die Phänomene der Divergenz der Strahlen dar; diese Erscheinung findet oft im Sommer und wenn die Sonne nahe am Horizonte steht, statt, und kommt von einem Theile der Sonnenstrahlen her, welcher durch die Oeffnung der Wolken hindurchgeht, während die anliegenden Theile von ihnen aufgehalten werden. Das Phänomen der Convergenz der Sonnenstrahlen, welches Fig. 139 darstellt, ist viel seltener; die Strahlen convergiren in A tief unter dem Horizonte, während sich die Sonne über demselben befindet. Diese Erscheinung ereignet sich immer auf dem der Sonne entgegengesetzten Theile des Himmels und im Allgemeinen gleichzeitig mit den Phänomenen der Divergenz. Sie hat fast das Ansehen, als wenn eine zweite der wirklichen Sonne diametral entgegengesetzte Sonne sich im Punkte A, von welchem aus die Strahlen divergiren, unter dem Horizont befände.

Bei einer derartigen Erscheinung, die ich im Jahre 1824 beobachtete, war der Horizont, wo sie stattfand, von einem schwarzen Gewölke bedeckt, welches zur Sichtbarwerdung einer so schwachen Strahlung eben so nothwendig zu sein scheint als die Erde. Wenige Minuten, nachdem das Phänomen wahrgenommen war, wurden die convergirenden Linien schwarz oder wenigstens sehr dunkel. Dieser Ef-

fekt scheint durch den Bruch und durch die ungleiche Intensität der leuchtenden Strahlen hervorgebracht zu werden, indem das Auge gleichsam die dunkeln Räume zwischen den Lichtstrahlen schneller aufnimmt, als die Strahlen selbst.

Dieses Phänomen ist gänzlich eine Wirkung der Perspective. Denkt man sich die gegen einander geneigten Strahlen wie die Meridiane eines Globus von der Sonne aus so divergirend, wie diese Meridiane von dem Nordpole des Globus divergiren, und nimmt man an, daß Ebenen durch alle diese Meridiane gehen und ihren gemeinschaftlichen Durchschnitt oder die Linie von der Sonne zum Beobachter durchschneiden, so wird das auf dieser Linie oder in dem gemeinschaftlichen Durchschnitte von funfzehn Ebenen befindliche Auge die funfzehn Strahlen in einem der Sonne entgegengesetzten Punkte convergiren sehen, gerade wie das auf der Axe des Globus befindliche Auge die funfzehn Meridiane des Globus im Südpole convergiren sieht. Denkt man sich die Axe des Globus oder die einer sphaera armillaris gegen die Mittelpunkte der divergirenden und convergirenden Strahlen gerichtet und eine Ebene durch den Globus parallel zum Horizonte gelegt, so schneidet diese alle Meridiane dergestalt, daß die Fig. 138 und 139 zum Vorschein kommen, mit dem Unterschiede, daß man nur funfzehn Strahlen in dem divergirenden Systeme statt der Strahlen Fig. 139 erhält.

Vierunddreißigstes Capitel.

Farben der Körper in der Natur.

§. 166.

Von allen Anwendungen der optischen Wissenschaften hat keine ein größeres Interesse, als die, deren Zweck die Bestimmung der Farben der natürlichen Körper ist. Newton war der erste, der sich mit dieser schwierigen Bestimmung abgab; seine Arbeiten tragen freilich den Stempel seines Genies, können jedoch eine sorgfältige Prüfung nach den neuen Fortschritten der Wissenschaft nicht aushalten.

Newton zeigte auf eine unwiderlegbare Weise, daß die natürlichen Farben der Körper nicht das Resultat einer den farbigen Körpern inwohnenden Eigenschaft sind. Er fand, daß alle Körper, welche Farbe sie auch haben mögen, diese Farbe nur dann zeigen, wenn sie sich im weißen Sonnenlichte befinden. Im gleichartigen rothen Lichte erschei-

nen sie roth, im gleichartigen violetten Lichte violet u. s. w., wobei sich denn ihre Farbe immer am besten entwickelt, wenn sie in ein Medium des Sonnenlichtes von entsprechender Farbe gebracht werden. Eine rothe Oblate z. B. sieht roth aus im weißen Tageslichte, weil sie mehr vom rothen Lichte reflectirt als von jeder andern Farbe. Bringt man sie in gelbes Licht, so sieht sie nicht röther aus, weil sich in dem reflectirten Roth etwas Gelb befindet. Reflectirte die rothe Oblate durchaus nur rothes gleichartiges Licht und nicht auch weißes, was alle farbigen Körper thun, so müßte sie völlig schwarz aussehen, wenn man sie in gelbes Licht bringt. Die Farben der Körper haben daher ihren Grund in der Eigenschaft dieser Körper, gewisse Strahlen des weißen Lichtes zu reflectiren und in's Auge zu bringen, während sie alle übrigen Strahlen festhalten oder absorbiren. Bis hierher stützt sich diese Theorie von Newton auf direkte Versuche. Der Haupttheil dieser Theorie jedoch, dessen Zweck es ist, die Art und Weise zu bestimmen, wie gewisse Strahlen absorbirt und andere reflectirt oder durchgelassen werden, ruht nicht auf so festen Grundlagen.

Wir wollen hier diese Theorie, deren Grundzüge Newton mit der größten Klarheit festgestellt hat, in wenigen Worten mittheilen:

1) die Flächen der transparenten Körper, welche die größte brechende Kraft besitzen, reflectiren das meiste Licht, d. h. die Grenzflächen zwischen den Mitteln, welche in ihrer brechenden Kraft am meisten von einander abweichen; in den Grenzflächen bei gleich stark brechenden Medien findet keine Reflexion statt.

2) Die dünnsten Theile aller natürlichen Körper sind im gewissen Sinne transparent, und die Undurchsichtigkeit dieser Körper rührt nur von der Vervielfachung der in ihrem Innern vorgegangenen Reflexionen her.

3) Zwischen den Theilen dunkler und farbiger Körper gibt es Räume, die entweder leer oder mit Mitteln von verschiedener Dichtigkeit angefüllt sind; so z. B. das Wasser zwischen den Körpertheilchen, welche die Flüssigkeiten färben, die mit ihnen imprägnirt sind; so die Luft zwischen den Wasserkügelchen, aus denen die Wolken und Nebel bestehen; so die leeren Räume, die größtentheils weder Wasser noch Luft, die jedoch nicht von allen Materien frei sind.

4) Die Theile der Körper und ihrer Zwischenräume haben eine bestimmte Größe, wodurch sie dunkel und farbig werden.

5) Die transparenten Theile der Körper reflectiren nach ihren verschiedenen Dimensionen die Strahlen einer Farbe, und lassen die einer andern Farbe durchgehen, auf derselben Stelle, wo bei dünnen Plättchen die Körpertheilchen diese Strahlen reflectiren oder durchlassen, und diese Stelle nehme ich als die aller ihrer Farben an.

6) Die Theile der Körper, von denen ihre Farben abhängen, sind dichter als das in ihren Zwischenräumen befindliche Medium.

7) Die Dimension der die natürlichen Körper bildenden Theile läßt sich muthmaßlich aus ihrer Farbe bestimmen. Aus diesen Grundsätzen bemühte sich Newton die Erscheinungen der Durchsichtigkeit, der weißen und schwarzen Undurchsichtigkeit und der Farben zu erklären. Er schreibt die Durchsichtigkeit des Wassers, der Salze, des Glases, der Steine und aller ähnlichen Substanzen der Kleinheit ihrer Atome und der sie trennenden Zwischenräume zu; denn obgleich er sie eben so gut mit Poren oder Zwischenräumen zwischen den Atomen angefüllt glaubt als die übrigen Körper, so hält er doch ihre Atome und Zwischenräume für zu klein, als daß sie an den gemeinschaftlichen Flächen eine Reflexion erzeugen könnten. Daraus folgt nach der Tabelle (S. 89, Theil I.), daß die Atome und Zwischenräume der Luft nicht über $\frac{1}{2}$, die des Wassers nicht über $\frac{3}{8}$ und die des Glases nicht über $\frac{1}{3}$ Millionstel Zoll betragen können, weil das bei diesen Dicken reflectirte Licht für nicht zu achten ist und das Schwarz erster Ordnung gibt. Die Undurchsichtigkeit von Körpern, wie z. B. des weißen Papiers, der Leinwand u. s. w., schreibt Newton einer bedeutenderen Größe der Atome und Zwischenräume zu, die so beträchtlich ist, daß sie das Weiß, welches eine Mischung der Farben der verschiedenen Ordnungen ist, reflectiren kann. In der Luft müssen sie also über 77, im Wasser über 57, im Glase über 50 Millionstel Zoll betragen.

Die verschiedenen Farben der Newtonschen Tabelle werden nach ihm erzeugt, wenn die Größe der Atome und ihrer Zwischenräume zwischen die Dimensionen fällt, welche Durchsichtigkeit und weiße Undurchsichtigkeit erzeugen. Wenn z. B. eine Glimmerschicht von gleichförmig blauer Farbe in sehr kleine gleich dicke Stücke zerschnitten wird, so behält jedes Stück seine Farbe und die Vereinigung aller Stücke gibt eine Masse von derselben Farbe.

Bis hierher ist die Newtonsche Theorie plausibel; will man

aber die schwarze Undurchsichtigkeit erklären, wie z. B. bei der Kohle und andern für das Licht undurchdringlichen Körpern, so scheint sie gänzlich unhaltbar zu werden.

Um Schwarz zu erzeugen, »müssen die Atome kleiner sein, als eins von denjenigen, welche eine Farbe geben; denn wenn sie größer wären, so reflectirten sie zu viel Licht, um diese Farbe erzeugen zu können, und wenn sie kleiner sein sollten, als daß sie das Weiß und Blau erster Ordnung reflectiren können, so würden sie so wenig Licht reflectiren, daß sie ein starkes Schwarz geben müßten.« Offenbar müssen diese Körper bei der Reflexion schwarz erscheinen; allein wo bleibt das durchgelassene Licht? Diese Frage scheint Newton verwirrt zu haben. Er antwortet darauf: »es wird vielleicht hierhin und dorthin im Innern des Körpers gebrochen und scheint in diesem unterdrückt oder verloren gegangen zu sein, wodurch er ein tiefes Schwarz bekommt.«

Nach dieser Theorie werden also die Durchsichtigkeit und die schwarze Farbe durch dieselbe Einrichtung der Körper erzeugt, und die hin- und hergehende Brechung soll in dem einen Falle das durchgelassene Licht auslöschen, während sie in dem andern Falle gänzlich außer Acht gelassen wird.

Bei der Erzeugung jeder Farbe nimmt man an, daß die complementäre Farbe, also im Allgemeinen die Hälfte des Lichts, durch wiederholte Reflexionen verloren gehe. Da nun aber die Reflexion nur die Richtung des Lichts ändert, so sollte man erwarten, daß das auf diese Weise zerstreute Licht in der einen oder andern Gestalt wieder zum Vorschein kommen müsse; allein obgleich man manche Versuche zu diesem Zwecke mit der größten Sorgfalt angestellt hat, so hat man das verlorne Licht doch nie wiedergefunden.

Aus diesen und aus andern Gründen, die ich der Kürze halber hier nicht aufzählen kann, *) scheint mir die Newtonsche Theorie der Farben nur auf sehr wenige Phänomene anwendbar zu sein, während sie die Farben der flüssigen und durchsichtigen Körper und alle die schönen Farben der Vegetabilien unerklärt läßt. In zahlreichen Versuchen über die Farben der Blätter und der aus ihnen gezogenen Säfte konnte ich die verschwundenen complementären Farben nie wie-

*) Leben Sir Isaak Newton's von Brewster. Ins Deutsche übersetzt von Goldberg. Leipzig 1833.

derfinden und jedes Mal war die durchgelassene und die reflectirte Farbe unverändert dieselbe. Wie auch die beiden Farben aussehen mochten, immer fand ich, daß sie von zwei verschieden gefärbten Säften aus verschiedenen Theilen desselben Blattes herrührten. Die Newtonsche Theorie ist indeß, wie wir nicht bezweifeln, auf die Flügel der Insekten, auf die Federn der Vögel, auf die Schuppen der Fische, auf Oxydschichten der Metalle und Gläser, und auf gewisse Opalescenzen anwendbar.

Die Farben der Vegetabilien, sowie die verschiedener festen Körper rühren nach unserer innigen Ueberzeugung von der besondern Attraction her, welche die Atome dieser Körper auf die verschieden gefärbten Lichtstrahlen ausüben. Die Sonnenstrahlen sind es, welche die farbigen Säfte der Pflanzen verarbeiten, die Farben der Körper verändern und mehre Verbindungen und Zerlegungen bewirken. Es ist nicht leicht zu begreifen, wie solche Wirkungen durch bloße Vibration eines ätherischen Mediums hervorgebracht werden können; deßhalb sind wir gezwungen, bei diesen Thatsachen das Licht als etwas Materielles anzusehen. Geht eine Lichtmasse in einen Körper hinein, und kommt nicht wieder zum Vorschein, so haben wir Grund zu behaupten, daß es von einer Kraft zurückgehalten wird, welche die Atome des Körpers auf das Licht ausüben. Es scheint sehr wahrscheinlich zu sein, daß es von den Atomen angezogen wird, und es läßt sich nicht bezweifeln, daß es mit ihnen Verbindungen eingeht, um verschiedene chemische und physische Wirkungen zu erzeugen, und obgleich wir die Art und Weise nicht kennen, wie diese Verbindung vor sich geht, so dürfen wir doch behaupten, daß das Licht absorbirt wird, indem dieses Wort die Thatsache genau bezeichnet.

Im Wasser, Glase und andern durchsichtigen Körpern wird nun von dem in sie eindringenden Lichte eine geringe Menge von den Atomen des Körpers absorbirt, der größte Theil des Lichtes entgeht der Absorption, wird durchgelassen und tritt unfarbig aus dem Körper hervor, weil seine Atome eine verhältnißmäßige Menge von allen Lichtstrahlen absorbirt haben, aus denen das weiße Licht besteht, oder was einerlei ist, weil der Körper das weiße Licht absorbirt hat.

In allen festen oder flüssigen farbigen Körpern, bei denen das durchgelassene Licht eine besondere Farbe hat, absorbiren die Atome des Körpers alle die Lichtstrahlen, welche das complementäre Licht geben,

indem sie zuweilen alle Lichtstrahlen von einer gewissen bestimmten Brechbarkeit, einen Theil der Lichtstrahlen von andern Brechbarkeiten zurückhalten, und andere Lichtstrahlen der Absorption gänzlich entgehen lassen; die Verbindung der absorbirten Strahlen gibt dann jedes Mal genau die Ergänzungsfarbe der durchgelassenen.

In den schwarzen Körpern, z. B. in der Kohle, wird sämmtliches eindringende Licht absorbirt; dies ist auch der Grund, warum solche Körper sich durch die Lichtstrahlen schneller erhitzen und entflammen. Der durch die Wärme und Kälte ausgeübte Einfluß auf das Absorptionsvermögen der Körper ist ein neuer Stützpunkt für die vorstehenden Betrachtungen.

§. 167.

Bevor wir dieses Capitel schließen, erwähnen wir noch einiger weniger Thatsachen in Bezug auf die weiße Undurchsichtigkeit, die schwarze Undurchsichtigkeit und die Farbe, welche einige besondere Substanzen entwickeln:

1) der Tabasheer, dessen Brechungsvermögen 1,111 zwischen Luft und Wasser fällt, ist eine kieselartige Concretion, die in den Knoten des Bambusrohres gefunden wird. Seine schönsten Varietäten zeigen eine hübsche azurblaue Farbe, und lassen Blaßgelb durch, die Ergänzungsfarbe zum Azur. Wird er mit einer nassen Nadel schwach angefeuchtet, so wird der feuchte Fleck augenblicklich milchweiß und undurchsichtig. Viele Feuchtigkeit gibt ihm seine Durchsichtigkeit wieder.

2) Das mineralische Chameläon ist eine feste Substanz, die man durch Erhitzung des reinen Manganoxyds mit Potasche erhält. Löst man diese Substanz in heißem Wasser auf, so ändert sie ihre Farbe vom Grün in's Blau und Purpurroth, wobei die letztere in der Ordnung der Ringe niedergeht, so wie die Theilchen kleiner werden.

3) Eine Mischung von süßem Mandelöle, Seife und Schwefelsäure ist nach Claubry zuerst gelb, dann orange, roth und violet. Bei dem Uebergange vom Orange zum Roth scheint die Mischung fast schwarz.

4) Wendet man beim vorigen Versuche statt des Mandelöls das Oel an, welches man durch Erhitzung des Alkohols und Chlors erhält, so sind die Farben der Mischung Blaßgelb, Orange, Schwarz, Roth, Violet und das schönste Blau.

5) Das Lackmus hat, wenn es lange Zeit in einer Flasche ein=

geschlossen gewesen ist, eine orange Farbe; öffnet man aber die Flasche und schüttelt die Flüssigkeit, so wird sie in wenigen Minuten roth und dann violetblau.

6) Eine Auflösung von Blutstein im Wasser, welches einige Tropfen Essigsäure enthält, ist graugelb. Thut man diese in eine Röhre mit Quecksilber und erhitzt sie mit einem heißen Eisen, so wird sie gelb, orangeroth und purpurroth, und kommt dann stufenweise in ihre anfängliche Farbe zurück.

7) Mehre Metalloxyde zeigen in der Hitze einen vorübergehenden Farbenwechsel und nehmen durch Abkühlung ihre anfängliche Farbe wieder an. Chevreul machte die Bemerkung, daß wenn Indigo auf Papier ausgebreitet sich verflüchtigt, seine Farbe in ein sehr lebhaftes Hochroth übergeht. Das gelbe phosphorsaure Blei wird durch Hitze grün.

8) Eine der merkwürdigsten Thatsachen ist die von Thenard am Phosphor bemerkte; wird dieser durch wiederholte Destillationen gereinigt, so ist seine Farbe weißlichgelb, wenn man ihn langsam kalt werden läßt, wird aber völlig schwarz, wenn man ihn geschmolzen in kaltes Wasser schüttet. Bei einer Wiederholung dieses Versuches berührte Biot einige kleine Kügelchen, die noch gelb und flüssig waren, wodurch sie sogleich schwarz und fest wurden.

Fünfunddreißigstes Capitel.
Das Auge und das Sehen.

Ein interessanter Zweig der angewandten optischen Wissenschaften ist die Beschreibung der Structur und der Functionen des menschlichen Auges, dieses Meisterwerkes eines göttlichen Mechanismus. Diesem schönen Organe verdanken wir den größten Theil unserer Kenntnisse über das materielle Universum; die Figuren 140 und 141 stellen dasselbe dar; Fig. 140 ist die äußere Seitenansicht des Auges, Fig. 141 sein innerer Durchschnitt.

Das menschliche Auge hat die Form einer Kugel mit einem leichten Vorsprunge; der Augapfel oder die Kugel des Auges besteht aus vier Häuten, die den Namen der harten Haut (tunica sclerotica), der Adernhaut (t. choroidea), der weißen Hornhaut (t. cornea) und der Netzhaut (retina) führen. Diese Häute oder Hüllen enthalten drei Flüssigkeiten: die wässerige Flüssigkeit, die gläserne

Flüssigkeit und die krystallinische Flüssigkeit; die letztere hat die Form einer Linse. Die äußere harte Hornhaut **aaaa** (Fig. 141) ist eine sehr feste Haut, an welcher die Muskeln befestigt sind, die den Augapfel in Bewegung setzen; sie bildet das sogenannte Weiße im Auge **aa** (Fig. 140). Die Hornhaut **bb** ist die helle und durchsichtige Haut, welche den Vordertheil des Augapfels bildet; sie ist die erste optische Fläche, in der sich die Lichtstrahlen brechen, und auf das Innigste mit der Sclerotika verbunden, indem sie eine kreisförmige Oeffnung in ihrer Mitte genau ausfüllt. Die Hornhaut hat eine große Resistenzkraft, ist überall gleich dick und besteht aus mehren fest verbundenen Schichten, welche einem äußern Stoße und den Einflüssen der Luft den größten Widerstand zu leisten vermögen. Die Adernhaut ist eine zarte Haut, welche die innere Fläche der Sclerotika bedeckt und inwendig mit einer schwärzlichen Flüssigkeit überzogen ist, in der sich die Netzhaut **rrr** befindet, welches die innerste aller Hüllen ist. Die Netzhaut ist eine zarte netzartige Hülle, gebildet durch die Ausbreitung des Sehnervens **oo**, welcher in das Auge in einem Punkte eintritt, der ungefähr $\frac{1}{10}$ Zoll von der Axe des Auges nach der Nase zu liegt. Am Ende der Augaxe befindet sich in senkrechter Richtung auf dem Mittelpunkt der Hornhaut ein kleines Loch mit gelblichem Rande, das sogenannte **foramen centrale** (Centralloch); dieses ist jedoch nicht, wie der Name es anzeigt, eine wirkliche Oeffnung, sondern nur eine transparente Stelle, die nicht mit der weißen flüssigen Materie bedeckt ist, aus der die Netzhaut besteht.

Sieht man durch die Hornhaut von außen, so nimmt man eine ebene kreisförmige Haut **ef** (Fig. 141), von innen **bb** (Fig. 140) wahr, die grau, blau oder schwarz ist, und das vordere Auge in zwei ungleiche Theile theilt. In der Mitte dieser Haut, der sogenannten Regenbogenhaut oder Iris, befindet sich eine kreisförmige Oeffnung **d**, die sogenannte Pupille, die sich bei schwachem Lichte ausdehnt, bei starkem Lichte zusammenzieht. Die beiden Theile, in welche die Regenbogenhaut das Auge theilt, heißen die Vorder- und Hinterkammer.

Die Vorderkammer vor der Regenbogenhaut **ef** enthält die wässerige Feuchtigkeit, und die hintere Kammer hinter der Regenbogenhaut die krystallinische und die gläserne Feuchtigkeit; die letztere füllt einen großen Theil des Augapfels.

Die Krystalllinse cc (Fig. 141) hat mehr Consistenz als die wässerige und gläserne Feuchtigkeit. Sie ist in einer Kapsel oder einem Sacke aufgehängt durch die Augenlidergewebe gg, die auf jeder Seite am Rande der Kapsel befestigt sind.

Nach Innen zu ist sie mehr convex als nach Außen; der Radius der Vorderfläche beträgt $\frac{1}{30}$, der der Hinterfläche $\frac{1}{22}$ Zoll. Sie hat die doppelt brechende Structur und ihre Dichtigkeit wächst vom Umfange nach der Mitte zu; sie besteht aus concentrischen von Fasern gebildeten Schichten. Die gläserne Feuchtigkeit vv ist in einer in mehrere Fächer abgetheilten Kapsel enthalten.

Die größte Länge des Auges von O bis b beträgt ungefähr 0,91 Zoll, die Hauptbrennweite der Linse cc 1,73 Zoll, und der Beweglichkeitsraum des Augapfels oder der Durchmesser des deutlichen Gesichtsfeldes 110°. Das Gesichtsfeld unter der horizontalen Linie beträgt 50°, über derselben 70°, im Ganzen also 120° in der Verticalebene; es beträgt 60° in der Horizontalebene, 90° außer derselben, im Ganzen also 150° in dieser Ebene.

Ich habe für die verschiedenen Flüssigkeiten im Auge, wenn die Lichtstrahlen aus der Luft in dasselbe gelangen, folgende Brechungsexponenten gefunden:

Wässerige Feuchtigkeit.	Krystalllinse.			Gläserne Feuchtigkeit.
	Oberfläche.	Mittelpunkt.	Mittel.	
1,336	1,3767	1,3990	1,3839	1,3394.

Da aber die von der wässerigen Feuchtigkeit gebrochenen Strahlen in die Krystalllinse, und die von dieser gebrochenen in die gläserne Feuchtigkeit übergehen, so sind die Brechungsexponenten der Flächen dieser einzelnen Feuchtigkeiten folgende:

der wässerigen Feuchtigkeit an der äußern Hülle der Krystalllinse 1,0466
der wässerigen Feuchtigkeit an der Krystalllinse, mittlere Zahl 1,0353
der gläsernen Feuchtigkeit an der äußern Schicht der Krystalllinse 1,0445
der gläsernen Feuchtigkeit an der Krystalllinse, mittlere Zahl 1,0332

Die Hornhaut und die Krystalllinse wirken auf die in's Auge fallenden Lichtstrahlen ganz wie eine Convexlinse; es bilden sich daher auf der Netzhaut rrr die Objecte außerhalb des Auges verkehrt ab, gerade so als wenn die Netzhaut ein Blatt weißes Papier in dem Brennpunkte einer in d befindlichen einfachen Linse wäre. Nur der Unterschied findet statt, daß im Auge die Aberration wegen der Ku=

gelgestalt durch die Veränderung der Dichtigkeit in der Krystallinse corrigirt wird, welche wegen ihres größern Brechungsvermögens in der Mitte ihrer Masse die Strahlen der Mitte in demselben Punkte bricht, wie die Strahlen, die dicht am Rande cc durchgehen. Uebrigens ist das Auge mit keinem Apparate zur Verbesserung der Farben versehen, weil die Abweichung verschiedener gefärbter Strahlen zu schwach ist, um das deutliche Sehen verhindern zu können. Bedeckt man die ganze Pupille mit Ausnahme ihres Randes, oder sieht man an einem so nahe an's Auge gehaltenen Finger vorbei, daß nur eine schmale Linie weißen Lichtes durchgehen kann, so erblickt man deutlich das farbige Spectrum dieser Linie mit allen seinen Farben, was nicht geschehen könnte, wenn das Auge achromatisch wäre.

Daß die Bilder der äußern Objecte sich verkehrt auf der Netzhaut abmalen, kann man, wie es schon oft geschehen ist, durch einen Versuch zeigen, wenn man an einem Ochsenauge die äußere harte Hornhaut mit einem scharfen Instrumente so dünn schneidet, daß das Bild durchscheint. Weiter vermag freilich die Optik keine Aufklärung zu geben; wir wissen nicht, auf welche Weise die Netzhaut dem Gehirne die Lichteindrücke mittheilt, und werden dies auch vielleicht nie erfahren.

Phänomene und Gesetze des Sehens.

§. 168.

1) Sitz des Gesichtes.

Die Netzhaut wurde wegen ihrer zarten Structur und wegen ihrer Nähe an der gläsernen Feuchtigkeit immer als der Sitz des Gesichtes oder als die Fläche angesehen, auf welcher die Lichtstrahlen in ihren Brennpunkten convergiren und von welcher aus der Eindruck dem Gehirne mitgetheilt wird, bis Mariotte die merkwürdige Entdeckung machte, daß die Basis des optischen Nervens oder der Kreisschnitt O (Fig. 141) unfähig ist, dem Gehirne den Eindruck eines deutlichen Sehens mitzutheilen.

Er fand, daß wenn das Bild eines äußern Objectes auf die Basis des optischen Nervens fiel, diese augenblicklich verschwand. Um sich von diesem Factum zu vergewissern, befestige man an einer Mauer in der Höhe des Auges drei Oblaten in einer Entfernung von zwei Fuß von einander. Man schließe ein Auge und richte das andere auf die mittlere Oblate; indem man die auf der Seite des geschlosse-

nen Auges liegende Oblate betrachtet, entferne man sich allmählich von der Mauer, bis die mittlere Oblate verschwindet. Dies wird der Fall sein in einer fünf Mal so großen Entfernung als der Abstand der Oblaten unter einander beträgt, also etwa in einer Entfernung von zehn Fuß; während nun die mittlere Oblate verschwindet, sind die beiden andern deutlich zu sehen. Nimmt man für die beiden Oblaten Kerzenlicht, so verschwindet das mittlere nicht gänzlich, sondern bildet eine dunkle Lichtmasse. Befestigt man die Oblate auf eine farbige Mauer, so bedeckt sich die Stelle der mittlern Oblate mit der Farbe der Mauer, als hätte man die Oblate weggenommen. Nach Daniel Bernoulli beträgt der Theil des optischen Nervens, welcher unfähig ist, die Eindrücke zu unterscheiden, ungefähr den siebenten Theil vom Durchmesser des Auges, also beinahe $\frac{1}{8}$ Zoll.

Der Umstand, daß die Basis des optischen Nervens zum deutlichen Sehen unfähig ist, führte Mariotte auf den Gedanken, daß die unmittelbar unter der Netzhaut befindliche Adernhaut die Funktionen verrichtet, die man früher der Netzhaut zuschrieb; denn wenn keine Adernhaut vorhanden ist, so gibt es auch kein deutliches Sehen. Die Undurchsichtigkeit der Adernhaut und die Durchsichtigkeit der Netzhaut, welche diese für die Aufnahme der Bilder unpassend macht, waren Gründe zu Gunsten der Mariotteschen Meinung. Die vergleichende Anatomie liefert noch einen andern viel entscheidendern Grund. Im Auge des Calmar (sepia Coligo) oder des Dintenfisches findet sich eine undurchsichtige Haut zwischen der Netzhaut und der gläsernen Feuchtigkeit *); ist daher die Netzhaut zum Sehen durchaus nothwendig, so müssen die Eindrücke des Bildes auf diese schwarze Haut von ihr auf die Netzhaut durch Vibrationen übergetragen werden. Da nun die Netzhaut im menschlichen Auge transparent ist, so hindert sie nicht eine Entstehung der Bilder auf der Adernhaut, und die Vibrationen, die sie auf dieser Haut erregen, werden der Netzhaut mitgetheilt und von dieser zum Gehirne getragen. Diese Beobachtungen erhalten durch eine andere Thatsache, die von einigem Interesse ist, ein noch größeres Gewicht. Ich habe an jungen Personen die Bemerkung gemacht, daß die Adernhaut, von der man gewöhnlich annimmt, daß sie mit zunehmendem Alter schwarz und schwächer wird, eine lebhafte

---

*) Edinburgh Journal of science, No. VI. pag. 199.

carmoisinrothe Farbe reflectirt, wie bei den Hunden und andern Thieren; würde also die Netzhaut von den sie durchdringenden Strahlen afficirt, so würde dieses Licht, welches nothwendig durch sie hindurch gehen muß, die Empfindung von Carmoisinroth erregen, was ich aber nirgends gefunden habe.

Ein französischer Schriftsteller Lehot hat kürzlich zu zeigen gesucht, daß das Gesicht in der gläsernen Feuchtigkeit seinen Sitz habe, und daß man statt eines getreuen Bildes des Objectes nur ein Bild von jeder seiner Dimensionen, Länge, Breite, Höhe oder Dicke sieht. Zur Erzeugung dieser Objecte nimmt er an, daß die Netzhaut eine gewisse Anzahl kleiner nervigter Fasern vorschiebt, die bis in die gläserne Feuchtigkeit reichen, und dem Gehirne die Eindrücke von allen Seiten des Bildes mittheilen. Wäre diese Theorie wahr, so könnte das Auge sich nicht darnach einrichten, auf jede Entfernung zu sehen, und wir wissen außerdem ganz bestimmt, daß das Auge nicht zwei Punkte desselben Objectes in gewisser Entfernung fassen kann, während es einen von ihnen sehr gut faßt. Lehot entgegnet dem ersten dieser Einwürfe freilich, die nervigten Fasern könnten sich in der gläsernen Feuchtigkeit nicht so weit ausdehnen, um diese Vermehrung unnütz zu machen; soll diese Erwiederung aber gelten, so muß man eine Unvollkommenheit im Mechanismus zugestehen, indem die Natur dann zwei Mittel zur Erzeugung eines Effektes angewandt hätte, der durch eins dieser Mittel eben so gut erreicht werden kann.

Da bis jetzt jede Meinung über den Sitz des Gesichtes ihre eigenen Schwierigkeiten hat, so wollen wir vor der Hand den Ausdruck beibehalten, dessen sich alle Optiker bedienen, daß nämlich die Bilder des Objectes sich auf der Netzhaut abmalen.

§. 169.

2) Gesetz der Richtung des Sehens.

Theilt ein auf die Netzhaut fallender Lichtstrahl uns die Empfindung des Sehens von dem Punkte mit, von welchem er herkommt, so ist die Beantwortung der Frage, in welcher Richtung das Object gegen den Punkt, in welchem es auf die Netzhaut fällt, gesehen wird, gewiß nicht ohne Interesse. Es sei F (Fig. 142) ein Punkt der Netzhaut, in welchem das Bild eines entfernten Punktes von der Krystallinse CC erzeugt wird. Nun fallen die Strahlen, welche das Bild des Punktes in F geben, auf die Netzhaut in allen möglichen Rich-

tungen von LF bis CF, und der Punkt F wird bekanntlich in der Richtung FCR gesehen. Auf dieselbe Weise sieht man die Punkte ff' in den Richtungen f'S und fT. Diese Linien FR, f'S und fT, die man die Gesichtsrichtungen nennen kann, gehen entweder durch das Centrum C der Linse LL, oder durch das Centrum einer Linse, die allen zur Erzeugung des Bildes nöthigen Brechungen gleich wirkt, und sind daher entweder die Resultanten aller der Richtungen in den Winkeln CFL, CfC, LfL, oder eine auf die Netzhaut in F, f, f' senkrechte Linie. Um hierüber in's Klare zu kommen, betrachte man über ein Kartenblatt weg den Punkt, dessen Bild in F ist, und schiebe die Karte so lange, bis ihr Rand den Punkt zu bedecken im Begriffe ist, oder was dasselbe ist, man vernichte alle durch die Pupille gehenden Strahlen, den obersten KL allein ausgenommen; man findet dann, daß der Punkt, dessen Bild in F ist, in derselben Richtung gesehen wird, als wenn er durch alle die Strahlen LF, CF, CF gesehen würde. Sieht man auf dieselbe Weise unter der Karte weg, so daß man das Object allein durch den untern Strahl RCF erblickt, so sieht man es noch in derselben Richtung. Hieraus geht hervor, daß die Gesichtsrichtung nicht von der Richtung der Strahlen abhängt, sondern immer senkrecht auf die Netzhaut ist. Diese für die Physiologie des Gesichts so wichtige Wahrheit kann auch noch auf eine andere Weise bewiesen werden. Sieht man nach der Sonne über eine Karte weg wie vorhin, so daß das Auge einen permanenten Eindruck des Spectrums durch die schräge auf die Netzhaut fallenden Strahlen LL erhält, so wird das Spectrum in der Gesichtsaxe FC gesehen. Drückt man eben so den Augapfel an einer beliebigen Stelle der Netzhaut, so sieht man den Lichteindruck in einer auf den Druckpunkt senkrechten Richtung, und wenn dieser Druck mit Hilfe eines Stecknadelknopfes bald in schräger, bald in senkrechter Richtung ausgeübt wird, so hat der Lichtstrahl dieselbe Richtung.

Da nun der Augapfel so viel als möglich eine Kugelfläche ist, so müssen die auf der Fläche der Netzhaut senkrechten Linien sämmtlich durch einen einzigen Punkt, nämlich durch den Mittelpunkt der Kugelfläche gehen. Diesen Punkt kann man den Mittelpunkt der Gesichtsrichtung nennen, weil jeder Punkt eines sichtbaren Objectes in der Richtung der Linie gesehen wird, die von diesem Centrum nach dem sichtbaren Punkte gezogen ist. Dreht man den Augapfel

mit Hilfe eines seiner Muskeln in seiner ganzen Ausdehnung von 110° herum, so bleibt jeder Punkt des sichtbaren Objectes in dem Gesichtsfelde des deutlichen oder undeutlichen Sehens vollkommen an derselben Stelle und zwar aus dem Grunde, weil das Centrum der Gesichtsrichtung und folglich auch die Linien der Gesichtsrichtungen, welche das Centrum und jeden der Punkte des Gesichtsfeldes mit einander verbinden, unbeweglich bleiben. Läge das Centrum der Gesichtsrichtung nicht im Mittelpunkte des Augapfels, so könnte diese vollkommene Stabilität des Sehens nicht stattfinden. Drückt man das Auge mit dem Finger, so ändert sich die sphärische Gestalt der Oberfläche der Netzhaut, folglich die Richtung der auf sie senkrechten Linie und das Centrum, wo diese Linien sich schneiden, weshalb dann auch die Richtungen der sichtbaren Objecte durch den Druck verändert werden können.

§. 170.

3) Ursache der aufrechten Richtung des verkehrten Bildes.

Da die in der Fläche der Hornhaut und Krystalllinse vorgegangenen Brechungen ganz so wirken, wie eine Convexlinse, so bilden sie hinter sich ein verkehrtes Bild des aufrecht stehenden Objectes, wovon man sich auch durch direkte Versuche überzeugen kann. Seit langer Zeit war die Beantwortung der Frage, wie man mittelst eines verkehrten Bildes die Gegenstände aufrecht sehen könne, ein Problem für die Physiker; alle die verschiedenen Meinungen über diesen Gegenstand anzuführen, würde eine unnütze Weitläuftigkeit sein; nur eine von ihnen verdient jedoch ihrer Ungewöhnlichkeit wegen besonders angeführt zu werden. Dieser Meinung zufolge sehen alle Kinder verkehrte Bilder, und verbessern den durch das Gesicht mitgetheilten falschen Begriff erst durch eine Vergleichung des Bildes mit dem Objecte, welches ihnen das Gefühl als ein aufrechtes zeigt. Eine solche Meinung widerlegen wollen, hieße mit dem gesunden Menschenverstande Spott treiben. Dadurch daß man den wahren Grund des aufrechten Sehens feststellt, fallen alle diese irrigen Hypothesen ohnehin über den Haufen.

Das vorhin angeführte und aus direkten Versuchen abgeleitete Gesetz der Gesichtsrichtungen hebt alle in dieser Beziehung etwa vorhandenen Schwierigkeiten. Die Linien der Gesichtsrichtungen schneiden sich nothwendig im Centrum dergestalt, daß der untere Theil des Bildes der obere Theil des Objectes und der obere Theil des Bildes

der untere Theil des Objectes wird. So ist in Figur 142 die Gesichtsrichtung des Punktes f', die von den von dem obern Theile S des Objects hervorkommenden Strahlen gebildet wird, fCS, und die Gesichtsrichtung des Punktes f, welche von den von dem untern Theile T des Objects herkommenden Strahlen gebildet wird, fCT, so daß das umgekehrte Bild nothwendig ein aufrechtes Object geben muß. Dieser Schluß kann aber auch noch auf eine andere Weise außer allen Zweifel gesetzt werden. Hält man die aufrechte Gestalt eines Menschen, die man aus einem Stücke schwarzen Papier ausgeschnitten hat, gegen die Sonne, betrachtet sie einen Augenblick mit unverwandten Augen, und schließt dann beide Augen, so sieht man ein aufrechtes Spectrum der Person, wenn die Figur auf dem Papier aufrecht steht und ein verkehrtes, wenn die Figur verkehrt ist. In diesem Falle gelangen nach geschlossenen Augen keine Strahlen mehr auf die Netzhaut und nur vermöge der Linie der Gesichtsrichtung, die in jedem Falle auf den afficirten Theil der Netzhaut senkrecht sind, sieht man das Object in den oben angegebenen Lagen.

§. 171.

4) Gesetz des deutlichen Sehens.

Richtet man das Auge gegen einen Punkt einer Landschaft, so sieht man nur den Punkt deutlich, der gerade in der Axe des Auges liegt, oder dessen Bild auf das Centralloch der Netzhaut fällt. Obgleich man indeß auch diesen Punkt allein vollkommen deutlich und so genau sieht, daß man ihn untersuchen kann, so sieht man doch auch noch andere Punkte der Landschaft deutlich genug, um einen allgemeinen Eindruck zu empfangen. Die große Beweglichkeit des Auges übrigens, und die Dauer der auf die Netzhaut erhaltenen Eindrücke helfen diesem scheinbaren Fehler ab, und lassen uns jeden Theil der Landschaft so deutlich sehen, als ob jeder einzelne auf eine vollkommen deutliche Weise gesehen würde.

Die geringe Reinheit des Sehens für alle Objecte, die außer der Augaxe liegen, wächst mit ihrem Abstande von der Augaxe, so daß wir nicht im Stande sind, die Reinheit des Sehens in der Axe zu begrenzen, weil das Bild sich in dem Centralloche der Netzhaut bildet, wo es keine nervigte Substanz gibt; denn wäre dieses der Fall, so würde man eine genaue Grenze zwischen dem deutlichen und undeutli-

chen Sehen haben, und die Netzhaut würde immer dicker werden, so-
wie man sich vom Centralloche entfernte, was nicht der Fall ist.

Bei Versuchen über die geringe Klarheit des Sehens in der Entfernung von der Augaxe bemerkte ich eine besondere Eigenthümlichkeit des optischen Sehens. Schließt man ein Auge und richtet das andere auf einen festen Punkt, z. B. einen Nadelknopf, so sieht man alle übrigen Gegenstände in dem Gesichtskreise undeutlich. Gesetzt, eins dieser dann undeutlich gesehenen Objecte sei ein weißer Papierstreifen oder eine Feder auf einem grünen Tische, so verschwindet der Papierstreifen oder die Feder, als wäre sie ganz fortgenommen; der Eindruck des grünen Tuches auf die übrigen Theile des Auges dehnt sich auf den Theil des Auges aus, den das Papier oder die Feder einnahm; nach einiger Zeit erscheint dasselbe wieder und verschwindet von Neuem. Sind beide Augen geöffnet, so findet derselbe Effekt statt, nur nicht so schnell. Bildet das undeutlich gesehene Object einen schwarzen Flecken, so verschwindet es auf dieselbe Weise. Ist das schräg gesehene Object ein leuchtendes, z. B. ein Kerzenlicht, so verschwindet es nie ganz, wenn es nicht wegen einer zu großen Entfernung geschwächt ist; allein es dehnt sich dann aus, zieht sich zusammen und hüllt sich ein in einen nebligen Kreis, und der Lichteindruck erstreckt sich dann auch auf die anliegenden Theile der Netzhaut, auf welche das Licht selbst keinen direkten Einfluß hat.

Stellt man zwei Kerzen in einer Entfernung von acht bis zehn Fuß vom Auge nur einen Fuß ungefähr von einander, so sieht man die eine direkt und die andere indirekt. Das direkte Bild breitet sich auf die angeführte Weise aus, und umgibt sich mit einem hellen Ringe von gelbem Lichte, während das helle Licht in dem Ringe eine blaßblaue Farbe hat. Betrachtet man die beiden Kerzen durch ein Prisma, so verschwindet das grüne und rothe Licht des indirekten Bildes, und es bleibt nur eine große Masse gelbes Licht, begrenzt durch einen Theil blauen Lichtes. Als ich bei diesen Versuchen eins der beiden prismatischen Kerzenbilder fest und direkt betrachtete, überraschte mich die Entdeckung, daß die rothen und grünen Strahlen anfingen zu verschwinden und nur Gelb und einen Theil vom Blau ließen; und als das Auge unverändert fest auf demselben Punkte des Bildes verweilte, verwandelte sich das gelbe Licht fast in reines

Blau, so daß das prismatische Bild zu einem verlängerten Bilde weißen Lichtes wurde.

Hält man den Papierstreifen, der von beiden Augen zugleich undeutlich gesehen wird, so nahe ans Auge, daß er doppelt gesehen wird, so fallen die von ihm herkommenden Lichtstrahlen nicht weiter auf die correspondirenden Theile der Netzhaut, und die beiden Bilder verschwinden nicht augenblicklich. Fängt aber das eine Bild an zu verschwinden, so thut es auch gleich darauf das andere, so daß sie mitunter gleichzeitig zu verschwinden scheinen.

Aus diesen Resultaten scheint hervorzugehen, daß das schräge oder indirekte Sehen nicht bloß in Bezug auf die Reinheit des Bildes, sondern auch noch in Bezug auf die Erhaltung dieses Bildes unter dem direkten Sehen steht; trotz dieser Mängel hat es jedoch vor dem direkten den Vorzug, daß er ein vollkommenes Sehen kleiner Objecte, z. B. kleiner Sterne, gestattet, die das direkte Sehen nicht erreicht. Dies sonderbare Factum wurde von Herschel, James South und einigen französischen Astronomen bemerkt. »Eine mehr als ungewöhnliche Methode,« sagen Herschel und South, »einen Anblick und selbst eine Vergrößerung der Winkel der Sterne von dem schwächsten Grade zu erhalten, besteht oft darin, daß man das Auge auf einen andern Punkt des Gesichtsfeldes richtet. Auf diese Weise wird oft ein schwacher Stern in der Nachbarschaft eines großen sehr sichtbar, so daß er einen gewissen Glanz hat, der plötzlich verschwindet, so wie man das Auge gerade auf ihn richtet, durch ein schräges Sehen wieder zum Vorschein kommt, und so abwechselnd erscheint und verschwindet, so oft man will. Die Seitentheile der Netzhaut, die durch starkes Licht weniger geschwächt und durch fortwährende Anstrengung weniger erschöpft sind, haben wahrscheinlich eine größere Empfindlichkeit für schwache Eindrücke, als die centralen Theile, wodurch sich das Phänomen erklärt.«

Mir scheint folgende Erklärung dieses Phänomens mehr zu genügen. Ein durch direktes Sehen wahrgenommener leuchtender Punkt oder eine dünne Lichtlinie, die während einer langen Zeit fest ins Auge gefaßt wird, bringt die Netzhaut in eine dem deutlichen Sehen sehr ungünstige Bewegung. Betrachtet man ein weißes erleuchtetes Papierblatt oder den Himmel durch die Zähne eines feinen, dicht ans Auge gehaltenen Kammes, oder auch nur durch eine eben so schmale dünne

Oeffnung, so bedeckt sich das Papier oder der Himmel mit einer Masse leuchtender Streifen, die parallel zur Oeffnung fortkriechen und in beständiger Bewegung sind, und wenn man die Oeffnung dreht, so fangen zugleich auch die parallelen Vibrationen an sich zu drehen. Diese schwarzen und weißen Linien bilden successive Undulationen auf der Netzhaut, die für die Lichteindrücke in der einen Phase wahrnehmbar, in der andern Phase nicht wahrnehmbar sind. Eine ähnliche Wirkung wird hervorgebracht, wenn man die parallelen Schraffirungen, welche das Meer auf einer Landkarte darstellen, lange Zeit betrachtet. Diese Linien schneiden sich schlangenförmig, und zwischen den gebrochenen und wellenförmigen Linien erscheinen alle Farben des Prisma. Es kann sich daher ein Lichtpunkt durch ein fortgesetztes Sehen auf der Netzhaut erhalten, wenn er direkt gesehen wird.

Es verschwindet nun beim indirekten Sehen, wie wir schon gesagt haben, ein leuchtendes Object nicht, sondern es erscheint undeutlich und gibt auf der Netzhaut ein mehr ausgedehntes Bild, außer dem Bilde, welches durch den Mangel an Convergenz der Lichtstrahlen erzeugt wird. Diese beiden Ursachen zusammen machen, daß ein indirekt gesehener Stern einen größern Theil der Netzhaut afficirt, und dadurch, daß er seine Schärfe verliert, deutlicher wird. Dieser merkwürdige Umstand findet auch bei dem obigen Versuche mit den beiden Kerzen statt und bewirkt, daß die beiden Kerzen, indirekt gesehen, lebhafter erscheinen, als eine von ihnen direkt gesehen.

§. 172.

5) Insensibilität des Auges für direkte Eindrücke eines schwachen Lichtes.

Die Insensibilität der Netzhaut für indirekte Eindrücke gewöhnlich erleuchteter Gegenstände findet einen merkwürdigen Gegenpunkt in der Insensibilität derselben für die direkten Eindrücke eines sehr schwachen Lichtes. Heftet man das Auge fest auf die Gegenstände eines dunkeln, durch einen sehr schwachen Lichtschimmer erleuchteten Zimmers, so empfindet es sofort eine peinliche Bewegung, die Objecte erscheinen und verschwinden, so wie die Netzhaut ihre Sensibilität wieder erlangt oder verliert.

Dieser Umstand ist ohne Zweifel die Quelle mehrer optischen Täuschungen, die man einem übernatürlichen Grunde beilegte. Sieht man in einer dunkeln Nacht die Objecte, welche schwach erleuchtet sind, erscheinen und wieder verschwinden, so scheint dieses einer Person,

die aus Furcht oder aus Neugierde alle ihre Kräfte anstrengt, um sie zu beobachten, etwas Ungewöhnliches zu sein. Dieser Fehler des Auges muß oft von dem Jäger beobachtet sein, der auf einem einförmigen Terrain die Stelle in's Auge faßt, wo das Wildpret sich gelagert hat. Wegen des geringen Unterschiedes in der Farbe des umgebenden Terrains bemüht er sich das Auge unverwandt auf die Stelle zu halten, so wie er vorrückt; aber jedes Mal, wenn die Stelle schwach erleuchtet ist, verliert er fast immer die Spur, oder wenn die Netzhaut sie ihm zum zweiten Male zeigt, so geschieht dies nur, um sie bald wieder zu verlieren. *)

§. 173.

6) Dauer des Lichteindruckes auf die Netzhaut.

Man wird gewiß die Bemerkung gemacht haben, daß der Eindruck des Lichts auf das Auge einige Zeit fortdauert. Während des Blinzelns mit dem Auge, oder der plötzlichen Bewegung des Augenliedes, um die Flüssigkeit wegzubringen, welche die Hornhaut schlüpfrig macht, verliert man die Spur der Objecte, die man im Gesichte hat, nicht aus dem Auge. Schleudert man eine glühende Kohle rasch herum, so erzeugt sich ein vollständiger Lichtkreis, obgleich in jedem Augenblicke die glühende Kohle nur an einer einzigen Stelle des Kreises sich befindet.

Der belehrendste Versuch in dieser Beziehung, der jedoch etwas Uebung voraussetzt, besteht darin, daß man einen Augenblick das Licht eines Fensters in einem langen Zimmer betrachtet, und dann das Auge schnell auf den Schatten einer Mauer richtet. Im Allgemeinen wird ein gewöhnlicher Beobachter das Bild des Fensters sehen, als wären die schwarzen Streifen weiß, und die weißen Scheiben schwarz; ein geschickter Beobachter dagegen, der seine Beobachtungen rasch anzustellen versteht, wird ein getreues Bild des Fensters mit dunkeln Streifen und weißen Scheiben sehen, auf dieses Bild folgt jedoch ein zweites mit hellen Streifen und schwarzen Scheiben. d'Arcy fand, daß das Licht einer glühenden Kohle, die sich in einer Entfernung von 165 Fuß bewegt, einen Eindruck auf die Netzhaut macht, welcher $\frac{1}{7}$ Minute dauert.

---

*) Edinburgh Journal of science. Nro. VI. pag. 288.

§. 174.

7) Grund des einfachen Sehens mit den beiden Augen.

Obgleich sich auf der Netzhaut eines jeden Auges das Bild jedes sichtbaren Objectes erzeugt, so sieht man dasselbe doch immer nur einfach, wenn beide Augen ihre Axen auf dasselbe richten können. Es leidet keinen Zweifel, daß wir wirklich zwei Objecte sehen, allein diese beiden Objecte verschmelzen in ein einziges, weil jedes von ihnen genau denselben Platz einnimmt. Das einfache Sehen mit beiden Augen oder auch mit mehren Augen, wenn wir diese hätten, ist eine nothwendige Folge des Gesetzes der Gesichtsrichtungen. Die äußern Muskeln des Augapfels können die Axe jedes Auges auf einen einzigen Punkt im Raume richten, der eine Entfernung über vier bis fünf Zoll hat. Betrachten wir z. B. die Oeffnung eines Fensterkreuzes, so fühlen wir, daß sich in jedem Auge ein Bild erzeugt; schneidet aber die Linie der Gesichtsrichtung jedes der Punkte des einen Bildes die Linie der Gesichtsrichtung jedes derselben Punkte des andern Bildes, so erscheint jeder doppelte Punkt als ein einfacher, und folglich wird die ganze von dem einen Auge gesehene Oeffnung mit der ganzen von dem andern Auge gesehenen Oeffnung zusammen fallen. Sind die Axen der beiden Augen gegen einen Punkt außerhalb des Fensters oder im Zimmer gerichtet, so wird die Oeffnung doppelt erscheinen, weil dann die Linie der Gesichtsrichtung derselben Punkte in jedem Bilde sich nicht in der Oeffnung schneidet. Sind die Muskeln des einen Auges nicht im Stande, die beiden Axen der Augen gegen denselben Punkt zu richten, so erscheint das Object doppelt. Die Ungeschicktheit des einen Auges, den Bewegungen des andern zu folgen, ist oft ein Grund des Schielens, weil dann das eine Auge seine Blicke anders richtet als das zweite, damit sie beide dieselben auf einerlei Punkt gelangen lassen. Zuweilen wird das Schielen auch durch ein unvollkommenes Sehen des einen Auges hervorgebracht, und weil dann das gute allein ihre Dienste thut, so verliert auch das schlechte allmählich die Kraft, den Bewegungen des andern Auges zu folgen. Uebrigens ist das Schielen ein Fehler, dem man oft abhelfen kann.

§. 175.

8) Anwendung des Auges auf verschiedene Entfernungen.

Sieht das Auge Gegenstände mit Leichtigkeit, die in großer Entfernung liegen, so vermag es nicht ohne einige Aenderung Gegenstände

in geringerer Entfernung eben so deutlich zu sehen. Man überzeugt sich von der Wahrheit dieser Thatsache, wenn man ein Object durch die Finger betrachtet; ist dann das entfernte Object deutlich, so sind die Finger undeutlich, und hält man die Finger so, daß sie deutlich gesehen werden, so wird das Object gänzlich undeutlich. Die ausgezeichnetsten Gelehrten haben verschiedene Meinungen über das Mittel aufgestellt, durch welches sich das Auge den verschiedenen Entfernungen anpaßt. Einige setzen es in eine Ausdehnung und Zusammenziehung der Pupille, Einige in eine Verlängerung des Auges, wodurch sich die Netzhaut von der Krystalllinse entfernt; Andere in eine Bewegung der Krystalllinse; Andere endlich in eine Aenderung der Convexität der Krystalllinse, die denn nach ihnen aus Fasermuskeln bestehen soll. Ich habe durch einen direkten Versuch bewiesen, daß eine künstlich hervorgebrachte Aenderung in der Oeffnung der Pupille eine Anpassung des Auges an verschiedene Entfernungen nicht zu erzeugen im Stande ist; daß eine Verlängerung des Auges die Krümmung der Netzhaut, folglich das Centrum der Gesichtslinie und die Stelle des Bildes ändern würde; ich halte deßhalb diese Hypothese nicht für haltbar.

Um den Grund der Anpassung des Auges an verschiedene Entfernungen zu erfahren, stellte ich eine Reihe von Versuchen an, aus denen sich folgende Resultate ergaben:

1) Das Zusammenziehen der Pupille, welches nothwendig stattfindet, wenn das Auge sich nahen Gegenständen anpaßt, erzeugt kein deutliches Sehen durch die Verringerung der Oeffnung, sondern durch irgend eine andere nothwendig damit verbundene Wirkung.

2) Das Auge paßt sich den nahen Objecten durch zwei Mittel an; das eine ist willkürlich und hängt bloß von dem Willen ab; das andere ist unwillkürlich und wird durch den Reiz des Lichtes auf der Netzhaut bedingt.

3) Wenn das willkürliche Vermögen der Anpassung des Auges an die Entfernung nicht wirkt, so hat man nur eine Anpassung vermöge des unwillkürlichen Lichtreizes.

Hiernach und nach den Resultaten anderer Versuche scheint man fast zu der Annahme gezwungen zu sein, daß das Anpassungsvermögen des Auges von dem Mechanismus abhängt, welcher die Pupille zusammenzieht und ausdehnt, und da die Anpassung von der Oeffnung un-

abhängig ist, so muß sie durch die Theile bewirkt werden, die unmittelbar mit der Basis der Iris in Berührung stehen. Denkt man an die verschiedenen Mittel, durch welche die Basis der Iris einen solchen Effekt hervorbringen kann, so scheint es fast ausgemacht, daß die Linse von der Netzhaut durch Zusammenziehung der Pupille entfernt wird. *)

§. 176.

9) Grund der Weitsichtigkeit und Kurzsichtigkeit.

Zwischen dem 30. und 50. Lebensjahre fangen bei vielen Menschen die Augen an, eine merkwürdige Aenderung zu erleiden, die sich im Allgemeinen dadurch zeigt, daß man etwas feine Schrift, namentlich beim Kerzenlichte, nur mit Schwierigkeiten liest. Diesen Fehler, den man die Weitsichtigkeit nennt, weil man die Gegenstände besser in der Entfernung wahrnehmen kann, hat seinen Grund in einer Aenderung der Krystalllinse, die mit ihrer Gestalt zugleich ihre Dichtigkeit und ihr Brechungsvermögen umgestaltet. Diese Aenderung fängt oft vom Rande der Linse an, und braucht mehre Monate, um rund um zu kommen; sie ist häufig von einer partiellen Trennung der Lamellen und selbst der Fasern der Linse begleitet. »Wird das Auge,« wie ich an einem andern Orte bemerkt habe, »in dieser Zeit nicht sorgfältig geschont, so artet die Aenderung der Linse in den grauen Staar aus, und schließt mit einer Zerstörung der Fasern, die freilich nicht durch die weiße Undurchsichtigkeit angezeigt wird, die jedoch Fehler im Sehen erzeugt, welche man mit dem schwarzen Staare und andern Fehlern verwechselt. Ein geschickter Augenarzt, der die gesammte Einrichtung des Auges und seiner optischen Functionen kennt, entdeckt ohne Schwierigkeit, vermittelst eines sehr einfachen Experiments, die kleine fehlerhafte Stelle der Linse, bestimmt die Natur und Größe der vorgegangenen Aenderung, wendet das Mittel an, um den Fortgang des Uebels zu hemmen, und versichert sich von dem Nutzen, der mit Convex- und Concavbrillen zu erreichen ist. Man nimmt in solchen Fällen oft seine Zuflucht zu den Conservationsbrillen, ehe die Krystalllinse eine gleichförmige Aenderung der Gestalt und Dichtigkeit erlitten hat; es kann dann nicht fehlen, daß das Uebel, dem geholfen werden soll, nur noch schlimmer wird. In der Krankheit der Linse, wo die Trennung der Fasern durch kleine Flecken oder auch so große Flek-

*) Die Details dieser Versuche hat man im **Edinburgh Journal of science, Nro. I. pag. 77.** nachzusehen.

cken begrenzt wird, daß diese getrennte farbige Bilder des leuchtenden Gegenstandes oder unregelmäßige Lichtkreise geben, muß man häufig die Oeffnung der Brillen verkleinern, damit das Sehen durch den gesunden Theil der Linse vor sich gehe.«

Diesem Fehler des Auges kann, wenn er nicht von einer Krankheit begleitet ist, völlig durch den Gebrauch einer Converlinse abgeholfen werden, die das Unvermögen der Krystalllinse ergänzt und die Lichtbüschel, die von nahen Gegenständen herkommen, in bestimmte Brennpunkte auf der Netzhaut convergiren läßt.

Die Kurzsichtigkeit zeigt sich dadurch, daß man nicht in die Ferne sehen kann. Wer an diesem Fehler leidet, hält kleine Objecte so nahe als möglich ans Auge, um sie deutlich sehen zu können. In diesem Falle schneiden sich die Lichtstrahlen entfernter Objecte in ihren Brennpunkten, ehe sie die Netzhaut erreichen, weshalb denn das Bild auf der Netzhaut undeutlich wird. Dieser Fehler tritt oft bei vorgerücktem Alter ein und rührt von vergrößerter Dichtigkeit in den centralen Theilen der Krystalllinse her. Durch den Gebrauch einer zweckmäßigen Concavbrille kann die Convergenz der Lichtstrahlen dergestalt aufgehalten werden, daß ein deutliches Bild auf der Netzhaut entsteht.

Sechsunddreißigstes Capitel.

Zufällige Farben und farbige Schatten.

§. 178.

Hat das Auge einen starken Eindruck von einem besondern farbigen Lichte erhalten und blickt dann auf ein weißes Papierblatt, so ist dies nicht mehr weiß, hat auch nicht die Farbe, die das afficirte Auge hatte, sondern verschiedene Farben, die man die zufälligen Farben *) zu der nennt, die das afficirte Auge hatte. Legt man z. B. eine lebhafte rothe Oblate auf ein weißes Papierblatt, und heftet dann das Auge fest auf den Mittelpunkt des Roth, und blickt hierauf auf das weiße Papier, so sieht man einen bläulichgrauen Fleck von einerlei Größe mit der Oblate. Diese Farbe, welche man die zufällige Farbe des Roth nennt, verschwindet allmählich. Das bläulichgraue Bild der Oblate heißt das Ocularspectrum, weil es sich in dem Auge abdruckt, und daselbst einige Zeit bleiben kann.

---

*) Göthe's physiologische Farben. A. d. Ü.

Wiederholt man diese Versuche mit Oblaten von anderen Farben, so erhält man Ocularspectra, deren Farben nach der Farbe der angewandten Oblate variiren, wie folgende Tabelle zeigt.

Farbe der Oblate.	Zufällige Farbe oder Farbe des Ocularspektrums.
Roth	Bläulichgrün
Orange	Blau
Gelb	Indigo
Grün	Röthlichviolet
Blau	Orangeroth
Indigo	Orangegelb
Violet	Gelblichgrün
Schwarz	Weiß
Weiß	Schwarz

Um die zufällige Farbe jeder der Farben des prismatischen Spectrums zu finden, nehme man die Hälfte der Länge des Spectrums zwischen den Zirkel, stelle die eine Spitze desselben auf die Farbe, deren zufällige Farben man sucht, dann zeigt die andere Spitze die zufällige Farbe. Dies durch die Beobachtung gefundene Gesetz der zufälligen Farben läßt sich so aussprechen: Die zufällige Farbe einer Farbe des prismatischen Spectrums ist die Farbe, welche in diesem Spectrum um seine halbe Länge von der ersten Farbe absteht; oder wenn man alle Farben eines prismatischen Spectrums nach ihren beiden Proportionen in einen Kreis ordnet, so liegt die zufällige Farbe jeder Farbe des Spectrums dieser gerade gegenüber. Deshalb nennt man auch die Farbe des Spectrums und ihre zufällige Farbe entgegengesetzte Farben.

Wird die anfängliche Farbe oder die Farbe, die sich dem Auge eindrückt, mit der zufälligen Farbe auf den gleichen Grad von Intensität gebracht, so ist die eine die Complementärfarbe der andern, oder die Farbe, welche dieser zum Weiß fehlt; d. h. werden die anfängliche oder die zufällige Farbe auf denselben Grad von Intensität gebracht, den sie im Spectrum haben, so gibt ihre Vermischung weißes Licht. In diesem Sinne hat man denn auch die zufälligen Farben complementäre Farben genannt. Hieraus erklärt sich leicht die Entstehung der zufälligen Farben. Hat man das Auge einige Zeit unverwandt auf die rothe Oblate gerichtet, so ist der von dem rothen Bilde behaftete Theil der Netzhaut stark gereizt oder gewissermaßen durch die fortdauernde Wirkung gelähmt. Die Sensibilität ist folglich geschwächt

und wenn man dann das Auge von der rothen Oblate weg auf das weiße Papier richtet, so ist der gelähmte Theil der Netzhaut für die rothen Strahlen, die einen Theil des weißen Lichtes vom Papier ausmachen, unempfindlich, erblickt also das Papier in der Farbe aller Strahlen des weißen Lichts mit Ausnahme des rothen Strahls, folglich in einer bläulichgrünen Farbe, welche die complementäre Farbe der rothen Oblate ist. Bringt man eine schwarze Oblate auf weißes Papier, so wird der kreisförmige Theil der Netzhaut statt gelähmt, durch die Abwesenheit des Lichts gewissermaßen geschont, während alle übrigen von der weißen Farbe des Papiers gereizten Theile der Netzhaut durch diese fortdauernde Wirkung gelähmt sind. Richtet man nun das Auge auf das weiße Papier, so sieht man einen dem, der Netzhaut mitgetheilten schwarzen Bilde entsprechenden weißen Kreis, so daß Weiß die zufällige Farbe vom Schwarz wird. Bringt man auf dieselbe Weise eine weiße Oblate auf schwarzes Papier und fixirt sie einige Zeit unverwandt mit dem Auge, so sieht man dann einen schwarzen Kreis, so daß Schwarz die zufällige Farbe vom Weiß ist.

Dies sind die Erscheinungen der zufälligen Farben, wenn man sich des schwachen Lichtes bedient. Wird dagegen das Auge von einem starken weißen Licht gereizt, so nehmen sie beinahe den entgegengesetzten Charakter an. Newton war der Erste, der über diesen Gegenstand einige sorgfältige Versuche anstellte, und über die Resultate einen Bericht an Locke abstattete, der indeß erst im Jahre 1829 bekannt geworden ist *). Mehrere Jahre vor 1691 richtete Newton nach geschlossenem linken Auge das rechte auf das von einem Spiegel reflectirte Sonnenbild. Um sich von dem erhaltenen Effekte zu überzeugen, wendete er dann das Auge in eine dunkle Ecke eines Zimmers, wo er ein brillantes Sonnenbild von farbigen Ringen umgeben sah. Dies Farben- und Lichtphantom, wie Newton es nennt, verschwand allmählich, allein jedesmal wenn er daran dachte, kehrte es wieder und wurde eben so lebhaft und leuchtend als vorhin. Er wiederholte diese Versuche drei Mal nach einander, und er theilt diese Wirkung in folgenden Worten mit: »mein Auge wurde bis zu solchem Grade gereizt, daß ich, als ich nach einiger Zeit eine Wolke, ein Buch oder ein leuchtendes Object betrachtete, beinahe ein der Sonne

*) Vie du Lord Roi von Locke.

ähnliches Licht wahrnahm, und noch wunderbarer war dabei, daß obgleich ich nur die Sonne mit dem rechten und nie mit dem linken Auge betrachtet hatte, meine Einbildung im linken Auge denselben Eindruck erzeugte, als im rechten, so daß ich, als ich nach geschlossenem rechten Auge das linke auf eine Wolke oder ein Buch richtete, das Sonnenbild mit ihm eben sowohl wahrnahm, als vorhin mit dem rechten Auge.«

Die Wirkung dieses Versuchs war so stark, daß Newton weder lesen noch schreiben konnte, und sich drei Tage lang in ein dunkles Zimmer einschließen mußte. Hier im Finstern, richtete er denn seine Einbildungskraft auf andere Gegenstände, wodurch er nach drei bis vier Tagen von Neuem zum Gebrauche seiner Augen gelangte. Er beschäftigte sich bei diesem Versuche mehr mit dem metaphysischen als mit dem optischen Resultate, beschrieb daher weder die Farben selbst, noch die Veränderungen, die mit ihnen vorgingen.

Aepinus hat Versuche von derselben Art angestellt. Er richtete funfzehn Minuten lang unverwandt sein Auge auf die nahe am Horizont befindliche Sonne, schloß dann das Auge und erblickte ein Sonnenbild von schwefelgelber Farbe mit einem schönen rothen Rande. Sobald er das geöffnete Auge auf ein weißes Papier richtete, war das Sonnenbild bräunlichroth mit einem himmelblauen Rande. Schloß er dann das Auge abermals, so wurde das Sonnenbild grün mit einem von dem ersteren verschiedenen rothen Rande. Oeffnete er das Auge wieder auf einen weißen Grund, so war das Sonnenbild noch roth und sein Rand noch lebhafter himmelblau; bei abermaligem Schlusse des Auges war es grünlichhimmelblau, dann schön himmelblau mit einem Rande vom schönsten Roth; bei geöffneten Augen wurde es dann wieder schön roth mit einem schönen blauen Rande. Aepinus bemerkte, daß das Sonnenbild, während er das Auge unverwandt auf den weißen Grund richtete, oft verschwand, wiederkehrte, und abermals verschwand. Gegen das Jahr 1808 hatte ich Gelegenheit, die Versuche von Aepinus zu wiederholen; statt aber die dunkle Sonne zu betrachten, benutzte ich einen schönen Frühlingstag, als die Sonne am hellen Mittage stand, und bildete mit dem Concavspiegel eines Reflectors ein lebhaftes Bild der Sonnenscheibe auf einem weißen Grunde ab. Nachdem ich dann das rechte Auge mit einer Binde geschlossen hatte, betrachtete ich mit dem linken die

leuchtende Scheibe durch einen Tubus, und richtete, nachdem die Netzhaut stark gereizt war, das linke Auge auf einen weißen Grund, wo ich dann bei abwechselndem Oeffnen und Schließen desselben folgende Farbenbilder wahrnahm.

Farbenbilder bei geöffnetem linken Auge.	Farbenbilder bei geschlossenem linken Auge.
1) Carmoisinroth von Grün überdeckt	Grün
2) Orange mit Carmoisinroth vermischt	Blau
3) Gelblichbraun	Bläulichviolet,
4) Gelb	
5) reines Roth	Himmelblau
6) Orange	Indigo

Als ich das rechte Auge von der Binde befreite und es auf einen weißen Grund richtete, überraschte mich die Bemerkung eines farbigen Spectrums, welches genau das umgekehrte von dem carmoisinrothen mit grünem Rande war. Das umgekehrte Farbenbild war grün mit einem röthlichen Rande. Ich wiederholte diese Versuche drei Mal, immer mit demselben Erfolge, so daß es scheint, als wenn der Eindruck des Sonnenbildes vom linken Auge durch den Sehnerven auf das rechte Auge übertragen war. Newton glaubte, daß die Einbildungskraft es sei, welche das Bild vom linken Auge in's rechte übertrage; ich bin jedoch geneigt zu glauben, daß bei seinem Versuche keine Uebertragung stattfand, weil das Spectrum mit beiden Augen dasselbe war, während in meinem Versuche das Spectrum sich umkehrte.

Wir können indeß über diesen Punkt kein entscheidendes Urtheil fällen, weil Newton die mit dem geöffneten und geschlossenen Auge wahrgenommenen Farbenbilder nicht beschrieben hat. Wird das Farbenbild in einem der Augen mit Heftigkeit gebildet, so ist es sehr schwer zu entscheiden, auf welchem Auge es sich gebildet hat, und dies würde unmöglich sein, wenn das Spectrum bei geöffnetem und geschlossenem Auge dasselbe bliebe. Die Erscheinungen der zufälligen Farben sind oft sehr leicht wahrzunehmen, wenn das Auge von einem leuchtenden Objecte nicht stark afficirt wird. Meusnier bemerkte schon vor langer Zeit, daß wenn die Sonne durch ein Loch von $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser in einem rothen Vorhange scheint, das leuchtende Bild grün war. Eben so kann Jeder in einem hell gemalten, von der Sonne erleuchteten Zimmer bemerken, daß die Theile jedes weißen Ob-

jects, auf welches das farbige Licht nicht fällt, die complementären Farben haben. Ich fand folgende Methode zur Beobachtung dieser Erscheinungen am einfachsten und besten. Man zünde zwei Kerzen an, stelle vor die eine ein Stück farbiges Glas, welches wir als Roth annehmen wollen, und entferne das andere Licht so weit, daß die beiden Schatten jedes Objects, welche auf einer weißen Papierplatte gebildet worden, gleich stark sind. Unter dieser Voraussetzung wird dann der eine Schatten roth, und der andere grün sein. Bei einem blaugefärbten Glase ist der eine Schatten blau, der andere orangegelb. Ueberhaupt hat immer der eine Schatten die zufällige Farbe des anderen. Dieselbe Wirkung erhält man im Tageslichte mittelst zweier im Fensterladen angebrachter Oeffnungen, von denen man die eine mit einem farbigen Glase bedeckt und die andere zum Durchlassen des weißen Tageslichtes freiläßt. Man kann auch die zufälligen Farben wahrnehmen, wenn man das Bild einer Kerze oder eines weißen Objects betrachtet, welches durch die Reflexion einer Platte oder Fläche farbigen Glases gesehen wird, die dick genug ist, um seine Farbe auf die zweite Fläche werfen zu können. In diesem Falle hat das reflectirte Bild immer die completäre Farbe von der des Glases. Denselben Effekt erhält man, wenn man das vom Wasser oder einem blauen Glase reflectirte Bild einer Kerze betrachtet, wo das Bild der Kerze gelblich ist; allein in diesem Falle ist der Effekt nicht so abstechend, weil die Netzhaut von der blauen Farbe des Glases nicht stark genug afficirt wird.

Diese Erscheinungen sind gänzlich verschieden von denen, die man mit farbigen Oblaten erhält, weil in diesem Falle die zufällige Farbe von einem Theile der Netzhaut gesehen wird, der von der anfänglichen Farbe nicht afficirt oder gleichsam geschwächt war. Es muß also eine neue Theorie der zufälligen Farben diese Classe von neuen Thatsachen umschließen; gerade so wie in der Akustik der Grundton von seinem harmonischen Töne begleitet wird, so ist bei den Eindrücken des Lichts die Empfindung einer Farbe immer von einer schwachen Empfindung der zufälligen oder harmonischen *) Farbe begleitet. Betrachtet man eine rothe Oblate, so sieht man zu gleicher Zeit mit einem

*) Man wendet das Wort harmonisch auf die zufälligen Farben deshalb an, weil die ursprünglichen und die zufälligen Farben in der Malerei harmoniren.

Theile der Netzhaut grün; da dies aber schwächer ist, so scheint die Verbindung beider Empfindungen nur das Roth zu schwächen und im gewissen Sinne weißer zu machen. Geht das Auge von der Oblate zum weißen Papier über, so bleibt die fortdauernde Empfindung der zufälligen Farbe und man sieht ein graues Bild. Die Dauer des anfänglichen Eindrucks ist nur ein Bruch in Secunden, wie schon oben angeführt ist; die Dauer des harmonischen Eindrucks währet aber eine der Kraft des Eindrucks proportionale Zeit. Um diese Ansichten auf die zweite Classe von Thatsachen anwenden zu können, nehmen wir unsere Zuflucht zu einem anderen Principe; während nämlich die Netzhaut oder ein großer Theil von ihr die Empfindung einer anfänglichen Farbe erleidet, wird ein Theil der Netzhaut, der von dieser Farbe nicht afficirt ist, in den Zustand versetzt, welcher die zufällige oder harmonische Farbe erzeugt.

Durch die Vibrationen, die sich wahrscheinlich den anliegenden Theilen communiciren, wird der Einfluß der direkten oder ursprünglichen Farbe nicht bis zu den Theilen fortgepflanzt, die von seiner Wirkung frei sind, ausgenommen den vorhin angeführten besonderen Fall des optischen Sehens. Betrachtet also das Auge den weißen Punkt des Sonnenlichtes in mitten des rothen Vorhanges, so ist die ganze Netzhaut, mit Ausnahme des von dem Bilde des leuchtenden Punktes afficirten Theils, in dem Zustande, Alles in grüner Farbe zu erblicken, und da die diesen Zustand begründenden Vibrationen sich auf die Theile der Netzhaut ausdehnen, wohin kein rothes Licht gelangt, so sieht man endlich den weißen kreisförmigen Fleck in grüner Farbe.

§. 178.

Smith, ein Arzt zu Fochabers, hat ein sehr merkwürdiges Phänomen von zufälliger Farbe beobachtet, bei welchem das Auge nicht von einer anfänglichen Farbe gereizt war. Man halte einen breiten Streifen von weißem Papier ungefähr einen Fuß weit vertical vor's Auge und richte beide Augen auf ein Object in einiger Entfernung; leitet man dann das Sonnenlicht oder ein Kerzenlicht, so daß es das rechte Auge stark afficirt, ohne das linke zu treffen, welches man leicht gegen dasselbe schützen kann, so ist der linke Rand des Papiers brillant grün, und der rechte roth.

Ist der Papierstreifen breit genug, daß beide Bilder sich decken, so ist der bedeckte Theil vollkommen weiß und ohne Farbe, woraus

erhellet, daß Roth und Grün complementäre Farben sind. Nähert man zwei gleich starke Lichter jedem Auge, so sind die beiden Ränder des Papiers weiß. Ist das eine Licht dem rechten Auge näher, so sind die Ränder des Papiers roth und grün, und wenn man plötzlich das andere Licht dem linken Auge nähert, so wird das Bild zur Linken des Papiers sofort grün und das Bild zur Rechten roth.

§. 179.

Eine besondere Afficirung der Netzhaut in Bezug auf die Farben zeigt sich in der Ungeschicktheit mancher Augen, gewisse Farben des Spectrums zu unterscheiden. Die Personen, deren Augen mit dieser Ungeschicktheit behaftet sind, haben gewöhnlich gesunde Augen, die alle übrigen Functionen des Sehens mit der größten Schärfe verrichten. Ein Schuster zu Allonby, Namens Harris, war von seiner Kindheit an unfähig, in Hinsicht der Farbe die Kirschen von den Blättern zu unterscheiden. Zwei seiner Brüder litten an demselben Gesichtsfehler, und verwechselten immer Orange mit Grasgrün, und Blaßgrün mit Gelb. Harris selbst unterschied weiter keine Farben als Weiß und Schwarz. Scott, welcher in den philosophical transactions seine eigene Augenschwäche mitgetheilt hat, verwechselte Carmoisinroth mit Blaßblau und Dunkelroth mit Dunkelgrün. Er unterschied alle Nüancen von Gelb und Blau sehr gut, nur Himmelblau nicht. Sein Vater, sein Oheim, eine seiner Schwester und seine zwei Söhne litten alle an demselben Gesichtsfehler.

Ein Schneider zu Plimouth, dessen eigenthümliches Sehen Harvey mitgetheilt hat, sah das Sonnenbild als bloß aus Gelb und Blaßblau zusammengesetzt, und konnte nur Weiß, Grün und Gelb deutlich unterscheiden. Berlinerblau und Indigo hielt er für schwarz.

Tucker beschrieb die Farben des Prisma folgendermaßen:

Roth, irrthümlich genannt Braun
Orange . . . . . Grün
Gelb mitunter Orange
Grün . . . . . . Orange
Blau mitunter Carmoisinroth
Indigo . . . . Purpurroth
Violet . . . . Purpurroth

Ein junger Mann, dessen Gesicht ich zu untersuchen Gelegenheit

hatte, sah in dem Farbenbilde nur Gelb und Blau. Wurde die Mitte eines rothen Raums von einem blauen Glase absorbirt, so sah er diesen Raum schwarz mit einer Farbe an beiden Seiten, die er Gelb nannte. Diesen Fehler in der Wahrnehmung der Farben hatte auch der verstorbene Dugald-Stewart, der keinen Unterschied unter den Blåttern und scharlachrothen Frůchten des sibirischen Apfelbaums wahrnehmen konnte. Dalton konnte im Tageslichte das Violet vom Blau nicht unterscheiden; im Sonnenspectrum sah er nur Roth, und das Uebrige schien ihm aus zwei Farben zu bestehen. Troughton besitzt dieselbe Schwåche und kann nur Blau und Gelb unterscheiden, und wenn er die Farben benennt, so entsprechen die Namen von Blau und Gelb den am meisten und am wenigsten brechbaren Lichtstrahlen; alle Farben ersterer Classe erregen ihm die Empfindung von Blau, alle zweiter Classe die Empfindung von Gelb.

In allen diesen Fållen erzeugen die prismatischen Farben die Empfindung von Licht und geben ein deutliches Sehen der Objecte mit Ausnahme des Falles von Dalton, der seiner Aussage nach, das rothe Ende des Farbenbildes kaum wahrnehmen kann. Dalton bemůhte sich, diese Eigenthůmlichkeit des Gesichts zu erklåren, indem er annimmt, daß bei ihm die glåserne Feuchtigkeit blau ist, und folglich einen großen Theil der rothen und der andern weniger brechbaren Strahlen absorbirt; diese Meinung scheint mir jedoch keinen Grund zu haben. Herschel schreibt diese Eigenthůmlichkeit einem Fehler des Sensatoriums zu, welcher es unfåhig macht, die Unterschiede unter den Lichtstrahlen, von denen die Farben abhången, aufzufassen.

Vierter Abschnitt.

Optische Instrumente.

Alle optischen Instrumente, die gegenwärtig im Gebrauch sind, wurden, mit Ausnahme der Brennspiegel des Archimedes, von den Physikern und Optikern der neuern Zeiten erfunden. In den vorhergehenden Capiteln haben wir die Grundsätze dargestellt, auf denen die Construction der meisten dieser Instrumente beruht; in den folgenden Capiteln soll so viel als möglich, eine gedrängte allgemeine Uebersicht ihrer Construction und ihrer Eigenschaften gegeben werden.

Siebenunddreißigstes Capitel.
Ebene und krumme Spiegel.
§. 180.

Eins der einfachsten optischen Instrumente ist der Spiegel mit einer einzigen Ebene, der sogenannte Toilettenspiegel, der aus einer Glasplatte oder aus einem Krystalle mit parallelen Flächen besteht, von denen die eine mit einem Amalgam aus Zinn und Quecksilber (Folie) belegt ist. Bei dieser Art von Spiegeln dient das Glas nur dazu, die dünne Metallschicht, mit welcher es belegt ist, polirt und glänzend zu erhalten. Sind die Flächen der Glasplatte nicht parallel, so wirft der Spiegel zwei, drei oder vier Bilder eines leuchtenden Gegenstandes in schräger Richtung zurück; selbst bei parallelen Flächen gibt der Spiegel immer zwei reflectirte Bilder, eins von der vordern Glasfläche und eins von der innern Metallfläche, deren Abstand um so größer wird, je dicker das Glas ist. Das von der Glasfläche reflectirte Bild ist überdies gegen das von der Metallfläche reflectirte sehr schwach, so daß zum gewöhnlichen Gebrauche ein solcher mit Folie belegter Spie-

gel ausreicht. Soll aber ein Spiegel in ein optisches Instrument gebracht werden und die Phänomene des Sehens erläutern, so muß er aus Stahl, Silber oder einer Legirung von Kupfer und Zinn bestehen, und er heißt dann ein Metallspiegel. Im zweiten Capitel haben wir die Entstehung der Bilder von Glas- und Metallspiegeln umständlich erörtert.

§. 181.

Das Kaleidoskop.

Verbindet man zwei Planspiegel auf eine bestimmte Weise mit einander und stellt sie in eine gewisse Lage gegen das Auge und das Object, so daß letzteres von dem Spiegel reflectirt werden kann, so erhält man das Kaleidoskop, ein Instrument, welches eine große Abwechselung schöner Bilder erzeugt. Es seien z. B. **AC** und **BC** (Fig. 143) die Durchschnitte zweier Planspiegel und **MN** ein zwischen sie oder vor jeden Spiegel gestelltes Object, so wird der Spiegel **AC** das Bild **mn** des Objects **MN** reflectiren, wie die Figur zeigt. Eben so reflectirt **BC** das Bild **M'N'**; diese Bilder können aber, wie wir früher gezeigt haben, als neue Objecte angesehen werden, die abermals reflectirt werden. Der Spiegel **AC** reflectirt das Bild **M''N''** des Objectes oder Bildes **M'N'**, und **BC** das Bild **m'n'** des Objectes oder Bildes **mn**. Eben so wird **m''n''** das von **BC** reflectirte Bild des Objectes oder Bildes **M''N''** und das von **AC** reflectirte Bild des Objectes oder Bildes **m'n'**. Hieraus folgt, daß **m''n''** die Reflexion beider Bilder ist, die sich bedecken und nur ein einziges Bild geben, vorausgesetzt, daß der Winkel **ACB** 60° beträgt, also der sechste Theil einer ganzen Umdrehung ist. In diesem Falle bilden die sechs Bilder desselben anfänglichen Objectes (die je zwei in ein einziges **m''n''** zusammenfließen) ein gleichseitiges Dreieck. Das Object **MN** ist lothrecht auf den Spiegel **BC** gezeichnet, so daß **MN** und sein Bild **M'N'** in einer einzigen geraden Linie liegen; fängt aber **MN** an sich zu bewegen, so bewegen sich zugleich auch die Bilder, und diese geben dann zusammen eine zweite vollkommen reguläre Zusammenstellung; auf diese Weise erhält man die schönsten Veränderungen aller der Reflexionen, die man nach der oben beschriebenen Methode zu erzeugen im Stande ist. Dies ist das Princip des Kaleidoskops rücksichtlich der Vervielfachung und Anordnung der Bilder; die dem Instrumente wesentliche Symmetrie hängt aber von der Lage des Objects und des Auges zu-

gleich ab, wie man aus Fig. 144 wahrnehmen kann. Hier stellen **ACE** und **BCE** die beiden Spiegel vor, die unter dem Winkel **ACB** gegen einander geneigt sind, und deren gemeinschaftlicher Durchschnitt **CE** ist. Befindet sich das Object in der Entfernung **MN**, so wird keine Lage des Auges in **E** oder sonst wo eine symmetrische Anordnung der sechs Bilder in Fig. 143 zu erzeugen im Stande sein, denn die correspondirenden Theile der Bilder können sich dann nie vereinigen. Nähert man das Object allmählich, so wird der Mangel der Symmetrie immer mehr aufgehoben, bis er gänzlich verschwindet, wenn das Object in die vordere Durchschnittsebene **ABC** der Spiegel tritt. Aber auch dann ist die Symmetrie immer noch unvollkommen, wenn sich das Auge nicht so dicht als möglich an **E**, dem Endpunkte der Verbindungslinien beider Spiegel, befindet. Folgendes sind daher die drei Bedingungen für die symmetrische Anordnung der Bilder eines Kaleidoskops:

1) Ist das Object regelmäßig und befindet es sich in gleicher Lage gegen die beiden Spiegel, so müssen diese einen Winkel einschließen, der irgend ein paarer oder unpaarer aliquoter Theil von 360° ist; ist das Object unregelmäßig, so muß dieser Winkel außerdem ein paarer aliquoter Theil von 360° sein.

2) Unter allen Lagen, die das Object außerhalb oder zwischen den Spiegeln haben kann, gibt es nur eine einzige, die eine völlig symmetrische Anordnung der Bilder erzeugt, und dies ist die Lage in der Ebene des Dreiecks, welches die Spiegel vorne begrenzt.

3) Unter den unzähligen Lagen des Auges gibt nur eine einzige eine vollkommene symmetrische Anordnung und dies ist die nächste an dem Scheitelpunkte des Winkels, den die Durchschnittsfläche der beiden Spiegel am andern Ende einschließt; in dieser Lage allein ist die Symmetrie der Reflexion vollkommen.

Um die vom Kaleidoskope hervorgebrachten Figuren zu verändern, bringt man in einen schmalen Raum zwischen zwei kreisförmige Glasstücke mehre feine verschiedenfarbige Objecte, die so gelegt sind, daß sie eine einfache Bewegung annehmen, wenn man den vor die Begrenzungsebene der Spiegel gebrachten Behälter mit der Hand umdreht. Man erblickt dann Bilder von unbeschreiblicher Schönheit und Lebhaftigkeit, die in's Unendliche variiren, ohne in eine frühere Zusammenstellung zurückzufallen.

Damit man in das Kaleidoskop verschiedene lebende oder todte Objecte bringen könne, so habe ich eine Convexlinse LL (Fig. 144) angebracht, welche das umgekehrte Bild eines entfernten Objectes MN in den Grenzdurchschnitt der Spiegel bringt, wo dies in seiner natürlichen Lage und in einer viel symmetrischeren Stellung zum Vorschein kommt, als man auf irgend eine andere Art erreichen kann. Bei dieser Einrichtung befindet sich die Linse in einer Röhre, und die Spiegel in einer andern, so daß, wenn man die Linse des Kaleidoskops dem Auge nähert oder von ihm entfernt, in beliebiger Entfernung befindliche Objecte sich ganz symmetrisch abbilden. Hierdurch kann man Blumen, Bäume, Statuen, Thiere, Gemälde u. s. w. in das Kaleidoskop bringen. Ist der Abstand EB kleiner als die Weite, in welcher das Auge deutlich sieht, so muß man in E eine Convexlinse anbringen. (Vergl. Brewster's Abhandlung über das Kaleidoskop.)

§. 182.

Ebene Brennspiegel.

Mittelst gut zusammengestellter ebener Spiegel kann man einen sehr wirksamen Brennapparat erhalten, und es ist sehr wahrscheinlich, daß Archimed mit einem solchen die Schiffe des Marcellus anzündete. Athanasius Kircher, der zuerst Versuche über die Wirkung solcher Spiegel anstellte, reiste mit seinem Schüler Scheiner nach Syrakus, um die Lage der Flotte des Marcellus zu untersuchen, und er erhielt das sehr genügende Resultat, daß die Schiffe nicht über 30 Schritte von Archimed entfernt gewesen sind.

Büffon führte einen derartigen Brennapparat aus, dessen Princip leicht zu begreifen ist. Fällt das von einem kleinen Toilettenspiegel reflectirte Sonnenlicht auf die Wange, so empfindet man weniger Wärme, als wenn das Sonnenlicht unmittelbar auf die Wange gefallen wäre; wird aber das Licht auch noch von einem zweiten Spiegel auf dieselbe Wange reflectirt, so vergrößert sich die Wärme, und wird bald bei fünf bis sechs Spiegeln unerträglich. Büffon verband 168 sechs- bis achtzöllige Spiegel dergestalt, daß man mittelst eines einfachen Mechanismus die reflectirten Strahlen auf einen einzigen Punkt leiten konnte. Diese Spiegel waren so gewählt, daß sie das schwächste Bild der Sonne in einer Entfernung von ungefähr 250 Fuß gaben.

Folgendes sind die von einer verschiedenen Anzahl von Spiegeln erzeugten Effekte:

Anzahl der Spiegel.	Abstand des Objectes.	Erzeugter Effekt.
12	20 Zoll	Entzündung leichter brennbarer Körper.
21	20 =	Entzündung von Buchenbrettern.
40	66 =	Entzündung getheerter Buchenbretter.
45	20 =	Schmelzung eines Stückes Zinn von 6 Pfund.
98	126 =	Entzündung von Brettern, die mit Theer und Schwefel bestrichen waren.
112	138 =	Ein mit Wolle bedecktes Brett wurde entzündet.
117	20 =	Schmelzung dünner Silberstücke.
128	150 =	Entzündung getheerter Tannenbretter.
148	150 =	Heftige Entzündung eines mit Schwefel bestrichenen Buchenbrettes.
154	150 =	Heftige Entzündung getheerter Bretter.
154	250 =	Entzündung von Tannenholzstückchen, die mit Schwefel bestrichen und mit Kohle vermischt waren.
224	40 =	Schmelzung von silbernen Platten.

Da sich bei dem veränderlichen Stande der Sonne die Spiegel nur schwer richtig stellen lassen, so schlägt Peyrard vor, jeden Spiegel in einen besondern Rahmen zu fassen, der mit einem Rohre versehen ist, mittelst dessen man die Strahlen auf das zu entzündende Object richten kann. Er versichert, mit 590 etwa 20zölliger Gläser eine Flotte auf $\frac{1}{4}$ Meile und mit doppelt so großen Gläsern auf $\frac{1}{2}$ Meile anzünden zu können.

Die Planspiegel werden in eine parabolische Krümmung zusammengesetzt, um mittelst der Sonnenstrahlen Objecte zu entzünden, die sich im Brennpunkte der Parabel befinden. Eben so bedient man sich dieser Anordnung, wenn die Spiegel zu Reflexionen dienen sollen, wo denn der strahlende Punkt im Brennpunkt der Parabel liegt.

§. 183.

Convex- und Concavspiegel.

Die allgemeinen Eigenschaften dieser Spiegel sind im elften Capitel beschrieben. Die Convexspiegel werden vorzüglich zu Verzierungen benutzt; sie geben ein aufrechtstehendes und verkleinertes Bild des Objectes, welches sich vor ihm befindel, und zwar scheint das Bild hinter dem Spiegel zu liegen.

Die Converspiegel geben Bilder vor dem Spiegel in der Luft, und zwar umgekehrte Bilder von aufrechten, und aufrechte Bilder von umgekehrten Objecten, die in einer Entfernung über ihrem Hauptbrenn-

punkte hinausliegen. Bildet man mittelst eines Kohlenbeckens eine transparente Wolke von blauem Rauche um den Brennpunkt eines großen Concavspiegels, so zeichnet sich mitten im Rauche ein strahlendes Bild eines erleuchteten Gegenstandes in großer Schönheit ab. Man bedient sich mitunter, um Unwissende zu täuschen, eines Todtenkopfs, der dem Beobachter verborgen angebracht wird; oder man substituirt, nachdem man auf diese Weise das Bild eines Äpfels, einer Blume u. s. w. erzeugt hat, im Augenblicke, wo der Zuschauer diese Blume mit der Hand berühren will, für dasselbe einen gezückten Dolch, den man in den andern conjugirten Brennpunkt des Spiegels bringt.

Die Concavspiegel können zugleich als Reverberen und als Brenngläser benutzt werden. Sollen sie zur Reflexion des Lichtes dienen, so werden sie aus übersilbertem Kupferbleche gemacht, mit dem Hammer in die parabolische Form geschlagen, und aus freier Hand polirt. Eine Lampe im Brennpunkte eines solchen parabolischen Spiegels schickt ihr divergirendes Licht nach der Reflexion in parallelen Strahlen aus, und wirft es so auf eine große Strecke mit vieler Intensität fort.

Concavspiegel zu Brenngläsern bekommen in der Regel die Kugelform; man bearbeitet und polirt sie wie die Metallspiegel zu Teleskopen. Die berühmtesten Spiegel dieser Art verfertigte Villèle zu Lyon, welcher fünf große ausführte. Der schönste von ihnen, aus einer Legirung von Zinn und Kupfer verfertigt, hatte nahe 4 Fuß im Durchmesser und 38 Zoll Brennweite; er schmolz ein 25 Centimenstück in $7\frac{1}{2}$, ein Sousstück in 16, Gußeisen in 16, Schiefer in 3 und dünnes Eisenblech in 4 Sekunden.

§. 184.

Cylinderspiegel.

In einem Cylinderspiegel muß das Bild eines Objectes verstellt erscheinen. Betrachtet man seine Gestalt in einem solchen Spiegel, dessen Axe vertikal ist, so erscheint, wenn man aufrecht steht, der Kopf in derselben Länge, als er in der Wirklichkeit ist, weil die krumme Fläche in vertikaler Richtung eine gerade Linie ist. Die Breite des Gesichts in horizontaler Richtung wird dagegen bedeutend entstellt sein, weil der Spiegel in dieser sehr convex ist; in allen Mittelrichtungen ist das Gesicht mehr oder weniger entstellt. Stellt man die Axe des Spiegels horizontal, so hat das Bild die natürliche Breite, ist aber

weit zu kurz. Stellt man das Object **MN** (Fig. 145) horizontal vor den Spiegel **AB**, so wird das Bild desselben eine ganz andere Gestalt haben; das Object kann aber so unförmlich gezeichnet werden, daß das Bild in dem Spiegel in den natürlichen Verhältnissen erscheint.

Cylinderspiegel, die indeß wenig mehr vorkommen, werden dazu gebraucht, um unförmlich gezeichnete Objecte in ihrer natürlichen Gestalt abzubilden. Die Objecte zeigen dann dem Auge weder Gestalt noch Züge, bilden sich aber in dem Spiegel in den vollkommensten Verhältnissen ab. Fig. 145 gibt ein Beispiel dieses belustigenden Versuchs; **MN** ist die unförmliche Zeichnung, deren Bild im Spiegel ein regelmäßiges Portrait ist.

Achtunddreißigstes Capitel.

Einfache und zusammengesetzte Linsen.

Die Augengläser und die Brillen sind die einfachsten optischen Instrumente, und die am meisten gebräuchlichen. Um Objecte von großer Feinheit, z. B. sehr kleine Schriftzüge, auf eine kurze Entfernung für schlechte Augen sehr deutlich erscheinen zu lassen, kann man eine Converlinse von sehr kurzer Brennweite gebrauchen, sowohl wenn man kurz-, als wenn man weitsichtig ist.

Will ein Kurzsichtiger, der in einer gewissen Entfernung nicht deutlich sehen kann, sich ein deutliches Sehen auf diese Entfernung verschaffen, so muß er eine Concavlinse gebrauchen, deren Brennweite nach folgender Regel bestimmt wird: man multiplicire den Abstand, in welchem die Objecte nicht mehr deutlich erscheinen, mit dem Abstande, auf welchen man sie mit einer Concavlinse deutlich erblicken will, und dividire das Produkt durch die Differenz dieser beiden Entfernungen.

Ein Weitsichtiger, der Objecte in der Nähe nicht deutlich sieht, muß sich einer Converlinse bedienen, deren Breite nach der nämlichen Regel bestimmt wird. Will man eine Brille kaufen, so thut man am besten, sich unter mehren diejenige auszuwählen, welche das Object, das man sehen will, am deutlichsten darstellt.

Wollaston hat eine neue Art von Brillen bekannt gemacht, die er periskopische nennt, weil sie ein größeres und bestimmteres Gesichtsfeld geben, als die gewöhnlichen Brillen. Er nimmt dazu Menisken und Concavconverlinsen (**H** und **I** in Fig. 19, Band I.), bei denen die Converität für Weitsichtige und die Concavität für

Kurzsichtige vorherrschen muß. Diese periskopischen Brillen gestatten indeß ohne Zweifel ein unvollkommneres Sehen, als die gewöhnlichen Brillen, weil sie zu gleicher Zeit die Aberration des Lichts wegen der Figur und der Farben vermehren; man kann sich ihrer jedoch in einer volkreichen Stadt bedienen, um die schiefe Annäherung der Objecte zu vermeiden.

§. 185.

Brenngläser und Erleuchtungslinsen.

Converlinsen besitzen besondere Vorzüge zum Concentriren der Sonnenstrahlen und zum Zusammenhalten eines aus leuchtenden Parallelstrahlen bestehenden Lichtbüschels auf große Entfernungen. Büffon fand, daß eine Converlinse mit großer Brennweite zum Schmelzen der Metalle durch Concentrirung der Sonnenstrahlen einer Linse mit kurzer Brennweite vorzuziehen war. Eine Linse z. B. von 32 Zoll Durchmesser und 8 Linien Brennweite schmolz Kupfer in weniger als einer Minute, während eine kleinere Linse von 32 Linien Durchmesser und $\frac{2}{3}$ Linie Brennweite kaum das Kupfer zu erwärmen vermochte.

Die vollkommenste aller Brennlinsen ist von Parker verfertigt; sie kostete 700 Pfund (etwa 4000 Preuß. Thaler), war aus Flintglas, hatte 3 Fuß Durchmesser und wog 212 Pfund. Sie hatte im Mittelpunkte 3 Zoll Dicke, ihre Brennweite betrug 6 bis 8 Zoll, und der Durchmesser des Sonnenbildes in ihrem Brennpunkte war 1 Zoll. Die von dieser Linse gebrochenen Strahlen wurden von einer zweiten Linse aufgefangen, in deren Brennpunkt die zu schmelzenden Objecte sich befanden. Diese Linse hatte 13 Zoll im Durchmesser, war in der Mitte $1\frac{5}{8}$ Zoll dick und hatte eine Brennweite von 29 Zoll. Der Durchmesser des Bildes im Brennpunkte betrug $\frac{3}{8}$ Zoll. Die combinirte Brennweite dieser Linse war 5 Fuß 3 Zoll und der Durchmesser des Bildes in dem Brennpunkte $\frac{1}{2}$ Zoll. Mit dieser Linse wurde Platina, Gold, Silber, Kupfer, Zinn, Quarz, Achat, Jaspis, Kiesel, Topas, Granat, Asbest u. s. w. in wenigen Sekunden in Fluß gesetzt.

Es sind mehre Gründe vorhanden, wegen welcher man keine Brenngläser von größeren Dimensionen verfertigen kann als das Parkersche. Einmal kann man sich keine so große Stücke Flintglas verschaffen, die rein genug und ohne Adern sind; dann ist es schwierig und kostspielig, sie linsenförmig ohne Fehler und rein zu schleifen; fer-

ner müssen sie wegen des größern Durchmessers der Linse eine zu große Dicke erhalten; diese Dicke setzt dem Durchgange des Sonnenlichtes einen bedeutenden Widerstand entgegen; endlich wächst die Aberration wegen der Kugelgestalt, wodurch die Strahlen von dem Brennpunkte abgeleitet werden; alles dieses sind unüberwindliche Hindernisse für ein Brennglas von bedeutender Größe.

§. 186.

Zur Verfertigung einer Linse aus einem einzigen Stücke, dessen Durchschnitt **Amp BEDA** (Figur 146) vorstellt, schlägt Büffon vor, den Krystall an den in der Figur weiß gelassenen Stellen wegzuschneiden, also den Theil zwischen **mp** und **no**, und den Theil zwischen **no** und der linken Seite von **DE**. Eine solche Linse würde unstreitig einer vollen Linse **Am BEDA** vorzuziehen sein; nur ist sie nach einem großen Maßstabe nicht auszuführen, weil die Flächen **Am**, **Bp**, **Cn**, **Fo**, und die linke Seite von **DE** zu schwer zu poliren sein würden; und wenn dies auch anginge, so würde man doch eine zu große Unvollkommenheit in den stehen gebliebenen Theilen der Linse befürchten müssen.

Um diese Schwierigkeiten zu beseitigen und um einigermaßen große Linsen zu erhalten, schlug ich im Jahre 1811 vor, eine Linse aus einzelnen Zonen oder Ringen zusammenzusetzen, von denen jede aus einem einzelnen Segmente besteht, wie sie in Fig. 147 dargestellt ist. Diese Linse besteht aus einer Centrallinse **ABCD**, welche dem Durchschnitte **DE** (Fig. 146) entspricht, aus einer Zwischenzone von vier Segmenten, entsprechend dem Durchschnitte **CDEF** in Fig. 146, und aus einer andern Zone **NPRT** von acht Segmenten, welche **ACFB** (Fig. 146) entspricht.

Man kann auf diese Weise aus einem reinen Flintglase Linsen ohne Fehler und ohne Adern verfertigen; ich habe ihnen den Namen von Polyzonallinsen gegeben. Sie besitzen außerdem noch einen andern großen Vorzug, den nämlich, daß man fast ganz die Aberration wegen der Kugelgestalt fortschaffen kann, indem man den Brennpunkt jeder Zone zusammenfallen läßt. Eine solche Linse wurde von P. und W. Gilbert, den Faktoren der Leuchtthürme im Departement du Nord ausgeführt; sie bestand aus reinem Flintglase in mehren Zonen und Segmenten, die zusammen 3 Fuß Durchmesser hatten. Man hat auch in Frankreich solche Linsen verfertigt und in den vor-

züglichsten Leuchtthürmen angewendet, wo sie viel bessere Dienste thun, als die schönsten Metallspiegel mit parabolischer Krümmung.

Es wird gegenwärtig eine Polyzonallinse von 5 Fuß Durchmesser als Brennglas verfertigt, die gewiß die kräftigste aller bisher verfertigten sein wird. Die Mittel zur Ausführung verdankt man vorzüglich der Freigebigkeit von Swinton, Calder und andern Einwohnern von Calcutta.

Neunundbreißigstes Capitel.

Einfache und zusammengesetzte Prismen.

§. 187.

Prismatische Linsen.

Die Eigenschaften des Prisma in Hinsicht der Zerlegung und Brechung des Lichtes haben wir schon im Vorigen erörtert; es bleibt uns daher jetzt nur noch übrig, seine Anwendung als optisches Werkzeug oder als einen递theil optischer Instrumente zu beschreiben.

Ein rechtwinkliches Prisma **ABC** (Fig. 148) wurde zuerst von Newton als Planspiegel angewendet, um die Lichtstrahlen, die das Bild eines reflectirenden Teleskops erzeugen, auf die Seite zu reflectiren. Da jeder der Winkel **BAC** und **BCA** 45° beträgt, und **B** ein rechter Winkel ist, so werden die auf die Fläche **AB** einfallenden Strahlen von der Fläche **BC**, wie von einem ebenen Metallspiegel reflectirt; denn welche Brechung sie auch beim Durchgange durch **AB** erleiden mögen, die Brechung in **BC** ist dieser gerade entgegengesetzt und gleich. Der Vorzug dieser Art von Spiegeln besteht darin, daß alle einfallende Strahlen vollständig reflectirt werden, selbst wenn sie auf **AC** unter einen größern Winkel fallen, als wo die totale Reflexion anhebt und daß hier also kein Strahl verloren geht, während bei den schönsten Metallspiegeln sich fast die Hälfte der Strahlen verliert. Ein wenig Licht geht freilich durch die Reflexion an den beiden Flächen **AB** und **BC**, so wie durch die Absorption des Glases verloren. Newton schlug auch Convexprismen, wie **DEF** vor, dessen Flächen **DF** und **FE** convex geschliffen sind. Ein ähnliches Prisma, einen prismatischen Meniskus, wandte Chevalier in der dunkeln Kammer (**camera obscura**) an, der sich von dem Newtonschen Prisma nur dadurch unterscheidet, daß die eine Seite **IH** nicht convex, sondern concav ist.

Wegen der schwierigen Verfertigung solcher Prismen habe ich eine halbkugelförmige Linse LMN in Vorschlag gebracht, deren beide convexe Flächen zu gleicher Zeit verfertigt werden können. Bedarf man einer größern Brennweite, so kann man an die untere Fläche eine Concavlinse RQ von größerer Brennweite als die Halbkugel PRQ bringen; verfertigt er dann die Linse aus einer Substanz, die ein anderes Zerstreuungsvermögen hat, so kann man dadurch die Farbe der Convexlinse corrigiren.

Sehr vortheilhaft bedient man sich eines Prisma, wenn man die Lichtbüschel umkehren oder ein aufrechtes Bild von Lichtbüscheln erhalten will, die es sonst verkehrt dargestellt haben würden. Fig. 149 stellt ein solches Prisma dar; RR'R'' sind parallele Lichtstrahlen, die in den Punkten 1, 2, 3 der Fläche AB gebrochen, von den Punkten a, b, c der Basis reflectirt und dann in den Punkten 1, 2, 3 von der Fläche AB abermals gebrochen werden, worauf sie sich in den Richtungen 3r'', 2r', 1r fortbewegen, so daß also RI jetzt in 1r liegt.

§. 188.

Zusammengesetzte und veränderliche Prismen.

Hinreichend reine Krystalle für Prismen von einer ziemlichen Größe sind sehr schwer zu erhalten, und deshalb sind auch gute Prismen von einiger Ausdehnung selten und können in optischen Instrumenten nicht angewandt werden, was sonst bestimmt geschehen würde. Das Princip, worauf die Construction der Polyzonallinsen beruht, läßt sich auch auf Prismen anwenden. Ein so construirtes Prisma AD (Fig. 150) hat, wenn es gut ausgeführt ist, gleiche Eigenschaften mit dem Prisma ABC, und ist diesem noch deshalb vorzuziehen, weil das Licht eine geringere Dicke zu durchschreiten braucht. Es möchte wohl sehr schwer sein, ein Prisma AD aus einem einzigen Stücke zu verfertigen, obgleich es nicht unmöglich sein würde; mit sechs einzelnen kleinen Prismen, die aus demselben prismatischen Stabe geschnitten und völlig ähnlich sind, hat die Sache keine Schwierigkeit. Die Spitze des Prisma hat eine kleine zur Basis parallele ebene Fläche, die man ihm leicht geben kann, wenn der prismatische Stab aus einer Krystallplatte von durchaus gleicher Dicke geschnitten ist. Werden dann die Prismen so mit einander verbunden, wie die Figur zeigt, so hat man ein zusammengesetztes Prisma, was dem einfachen Prisma überall vorzuziehen ist, wo es sich nur um die Brechung handelt.

§. 189.

Boscowich hat ein aus mehreren Stücken bestehendes Prisma mit veränderlichem Winkel in Vorschlag gebracht. **AB** (Fig. 151) ist eine halbkugelförmige Convexlinse, die sich in einer Concavlinse **DEC** von derselben Krümmung bewegt. Dreht man die eine Linse um die andere, so kann die Neigung der Flächen **AB** und **DE** oder **AB** und **CE** von 0° bis 90° verändert werden.

§. 190.

Da dieser Apparat schwer auszuführen und auch zugleich schwer zu gebrauchen ist, so habe ich ein ganz anderes Mittel zur Construction eines veränderlichen Prisma angewendet, welches ich zu sehr vielen Versuchen über das Zerstreuungsvermögen der Körper gebrauchte. Bildet man durch fast vollständiges Schließen der Fensterladen in einem dunkeln Zimmer eine vertikale Lichtlinie, und betrachtet diese durch ein Flintglasprisma, dessen Brechungswinkel 60° beträgt, so daß man die Ränder dieses Winkels vertikal oder parallel mit der Lichtlinie hält, so erscheint die Lichtlinie als ein brillant gefärbtes Spectrum, und jeder Theil dieses Spectrums gleicht vollkommen dem Sonnenspectrum. Dreht man dann das Prisma auf der Ebene einer seiner brechenden Flächen dergestalt, daß die genannte Kante allmählich eine Neigung von 0° bis 90° gegen die Lichtlinie erhält, so wird das Spectrum immer weniger farbig, bis in der senkrechten Lage der Kante gegen die Lichtlinie jede Spur von Farbe verschwindet. Durch dieses Verfahren hat man, wenn man sich statt der Lichtscheibe einer Lichtlinie bedient, dieselbe Wirkung, als variirte der Brechungswinkel des Prisma von 90° bis 0°.

§. 191.

Wir wollen annehmen, man solle das Zerstreuungsvermögen des Flint- und Kronglases bestimmen. Man stelle das Prisma aus Kronglas, dem man einen Brechungswinkel von 40° gegeben hat, so auf, daß das möglichst größte Spectrum der Lichtlinie erscheint. Hierauf bringe man zwischen dasselbe und das Auge das Prisma aus Flintglas und drehe dieses so lange auf die vorhin beschriebene Weise, bis die von dem Kronglas erzeugte Farbe corrigirt oder bis die Lichtlinie gänzlich farblos erscheint. Kennt man die Neigung von der Kante des Flintglasprisma gegen die Lichtlinie, so findet sich der Winkel dieses Prisma sehr leicht, welcher die Farbe eines Kronglasprisma mit

einem Brechungswinkel von 40° corrigirt. (Vergleiche meine Beschreibung neuer physikalischer Instrumente S. 291).

§. 192.

Multiplicirender Spiegel.

Die Linse zur Vervielfachung der Bilder eines Objectes ist mehr der Belustigung als des Nutzens wegen zu bemerken. Obgleich sie die Kugelform einer Linse hat, so besteht sie doch eigentlich nur aus mehren Prismen, die von den ebenen Facetten einer Planconvexlinse wie in Fig. 152 gebildet werden. **AB** ist der Durchschnitt des multiplicirenden Spiegels, von welchem man in der Figur nur drei Ebenen oder Facetten sieht. Man erblickt in **E** ein direktes Bild des Objectes **C** durch die Fläche **GH**; ein anderes Bild nimmt man in **D** durch die Brechung der Fläche **HB**, und ein drittes in **F** durch die Brechung der Fläche **AG** wahr; jede Facette gibt solchergestalt ein eigenes Bild. Das Bild **C** ist farblos; alle übrige erscheinen mehr oder weniger gefärbt je nach der Neigung der Facetten gegen **AB**.

Man findet solche multiplicirende Spiegel in der Natur unter den transparenten Mineralien, wo sich entgegengesetzte krystallisirte Flächen schneiden, selbst wenn diese Mineralien aus Platten mit parallelen Ebenen bestehen. Einige Stücke Doppelspath gaben mehr als hundert farbige Bilder eines und desselben Objectes. Die Theorie dieser multiplicirenden Spiegel ist schon in Cap. 29. auseinander gesetzt.

Vierzigstes Capitel.

Die dunkle Kammer, die magische Laterne und die helle Kammer.

§. 193.

Die dunkle Kammer.

Die dunkle Kammer (**camera obscura**) ist ein nützliches und angenehmes optisches Instrument, von Baptista Porta erfunden. Es war dies zuerst ein dunkles Zimmer mit geschwärzten Wänden, welches nur eine einzige Oeffnung in dem Fensterladen hatte, in welcher sich eine Convexlinse von 1 Fuß oder mehr Brennweite befand. Hält man dann ein weißes Papierblatt in den Brennpunkt der Linse und senkrecht auf diese, so malen sich alle außerhalb des Zimmers befindlichen Gegenstände mit ihren natürlichen Farben auf dem Papiere ab, Bäume und Wolken sind eben so in Bewegung, wie drau-

ßen, alle lebenden Objecte nehmen auf dem Papiere dieselben Stellungen und Manieren an, wie in der Wirklichkeit; die vollkommene Uebereinstimmung dieser Bilder mit der Wirklichkeit ist sehr belustigend und setzt den, der es zum ersten Male sieht, sogar in Erstaunen. Das Bild ist jedoch umgekehrt und erscheint nur dann aufrecht, wenn man das Papier von oben betrachtet. Der Grund, auf welchem man das Bild auffängt, muß concav sein und einen Theil einer Kugel bilden, deren Halbmesser die Brennweite der Concavlinse ist. Uebrigens ist es sehr gut, wenn derselbe aus sehr weißem und gut polirtem Gypse verfertigt wird.

Damit das Bild leicht von mehren Personen zugleich gesehen und copirt werden könne, muß es sich auf einem horizontalen Tische abbilden, was mit Hilfe eines Spiegels geschehen kann, der eine solche Neigung hat, daß die Strahlen unter einem Winkel von 45° reflectirt werden und welcher das Bild auf einen horizontal gestellten weißen Grund wirft. In den tragbaren dunklen Kammern wirft der Spiegel das Bild auf eine mattgeschliffene Glasplatte, und man kann es auf transparentem Papiere durchzeichnen.

Fig. 153 ist eine tragbare dunkle Kammer, die sehr bequem zum Abzeichnen von Landschaften und andern Objecten ist. AB ist ein Meniskus mit der concaven Seite nach oben; der Halbmesser der concaven Seite verhält sich zu dem der convexen Seite wie 5 zu 8; CD ist ein Metallspiegel mit einer Neigung von 45° gegen den Horizont, so daß er die Landschaft und die Umgebung auf die Linse reflectirt. Der Zeichner steckt seinen Kopf durch eine Oeffnung in der Seitenwand, und die Hand mit dem Griffel durch eine andere Oeffnung; jede dieser Oeffnungen hat einen Vorhang, damit kein Licht in die Kammer und auf das Papier EF fallen könne.

Die Röhre mit der Linse und dem Spiegel kann durch ein Räderwerk im Innern der Kammer in Bewegung gesetzt werden, und der Zeichner hat es in seiner Gewalt, die Neigung des Spiegels zu verändern, um Objecte wahrnehmen zu können, die mehr oder weniger gegen den Horizont geneigt sind.

Soll die dunkle Kammer zur öffentlichen Ausstellung dienen, so ist sie in allen ihren Theilen eben so construirt; nur stellt man sie dann auf die Spitze eines Gebäudes; die Rotation der Spiegel, sowie seine Bewegung in der Vertikalebene bewirkt man durch zwei Räder-

werke, die dem Zuschauer zur Hand sind und wodurch dieser alle Objecte rings im Horizonte und in beliebiger Entfernung abzubilden vermag. Das Bild wird auf einem mit Stuck übergezogenen Tische aufgefangen, dessen Fläche einerlei Halbmesser mit der Linse hat und hoch oder niedrig je nach der Entfernung der Objecte gestellt werden kann. Mit einer der prismatischen Linsen DEF, GHI, LMN, PRQ (Fig. 148) kann man das Bild äußerst deutlich auf einer horizontalen Fläche ohne Hilfe eines Spiegels erhalten. Die Convexflächen dieser Prismen drängen die Strahlen zusammen, die in ihren Brennpunkten von den Ebenen DE, GH, LN, PQ reflectirt werden; man verfertigt diese Linsen, wenn man auf diese Flächen AB, BC eines rechtwinklichen Prisma ABC Planconvexlinsen, oder auch eine Convexlinse dicht an AB stellt.

Will man das Bild aufrecht auf einer Vertikalebene haben, so muß das Prisma ABC (Fig. 148) vor die Convexlinse oder unmittelbar hinter dieselbe gestellt werden. Auch kann man diesen Zweck durch drei aufeinander folgende Reflexionen von Glas- und Metallspiegeln erreichen.

Einen sehr guten Effekt erhielt ich bei dem Auffangen der Bilder auf einer übersilberten Platte oder auf einem Toilettenspiegel, der mit einem ebenen und polirten Schleifsteine matt geschliffen war. In der tragbaren dunklen Kammer fand ich ein Häutchen abgerahmter auf einer Glasplatte getrockneter Milch dem matt geschliffenen Glase vorzuziehen.

Eine besondere Einrichtung der dunklen Kammer, womit man nahe bei die Linse gestellte kleine Objecte vergrößert, heißt das Megaskop. In ihm ist der Abstand des Bildes hinter der Linse größer, als die Entfernung des Objectes vor derselben. Dadurch daß man letzteres näher oder entfernter von der Linse stellt, wird das Bild kleiner oder größer. Die halbkugelförmige Linse LMN (Fig. 148) eignet sich vorzugsweise für das Megaskop.

§. 194.

Die magische Laterne.

Die magische Laterne, (Zauberlaterne, laterna magica) wurde von Kircher erfunden und ist in Fig. 154 abgebildet. L ist eine Argandische Lampe, die in einer dunklen Laterne steht. Auf einer Seite der Laterne ist ein Concavspiegel MN angebracht, dessen Mittel-

punkt gegenüber die Flamme der Lampe im Brennpunkte des Spiegels steht. Auf der gegenüberstehenden Seite der Laterne befindet sich eine Röhre AB, die eine erleuchtende halbkugelförmige Linse A und eine Convexlinse B trägt. Zwischen A und B hat die Röhre eine Erweiterung CD, in welche man die gemalten Gläser der magischen Laterne bringt. Diese Malerei wird auf transparentem Grunde gemacht und hoch in Farbe gehalten; schiebt man sie dann in den Falz CD, so befindet sich jedes der dargestellten Objecte in der Axe der Röhre und zwischen den beiden Linsen A und B. Das Licht der Lampe L, welches von dem Spiegel MN verstärkt wird, fällt auf die Linse A und concentrirt sich auf dem gemalten Objecte in dem Falze CD; wenn dann das gemalte Object in einem der conjugirten Brennpunkte der Linse B steht, so zeigt sich ein vergrößertes Bild auf einem lothrecht herabhängenden Tuche oder einem Papierschirme E. Die Linse B kann ausgezogen und näher oder entfernter vom Objecte gestellt werden, so daß man ein großes hinlänglich deutliches Bild in einem großen Abstande erhält, und daß dieser Abstand zwischen bestimmten Grenzen liegt. Besteht der Schirm aus halb durchsichtigem Silberpapiere oder aus einem dazu bereiteten feinen Nesseltuche, so wird ein hinter dem Schirme befindlicher Zuschauer das Bild deutlich sehen.

§. 195.

Die **Phantasmagorie** ist nur eine Zauberlaterne, in welcher die Bilder von einem transparenten Schirme aufgefangen werden, durch den die Zuschauer sehen. Die Zauberlaterne steht dabei auf Rädern, und kann dem Schirme nach Belieben nahe gebracht werden und sich davon entfernen; dadurch erscheinen die Bilder bald riesenmäßig vergrößert, bald so klein, daß sie in einen leuchtenden Punkt zusammenzufließen scheinen. Die Linse B ist so eingerichtet, daß sie sich von dem Falze CD entfernt, wenn die Laterne dem Schirme näher rückt, und sich dem Falze nähert, wenn die Laterne von dem Schirm entfernt wird, damit das Bild immer deutlich erscheint. Nach **Young's** Vorschlag bewirkt man diese doppelte Bewegung durch einfache Stäbe oder Hebel, die sich gegen den Schirm stützen, und die Röhre B einschieben oder ausziehen; wir glauben jedoch, daß ein an den Rädern angebrachter Mechanismus dieses Geschäft besser und sicherer vollzieht.

§. 196.

Die helle Kammer.

Die helle Kammer (camera lucida) wurde 1807 von Wollaston erfunden, und ist allgemein im Gebrauche zum Abzeichnen von Landschaften und naturhistorischen Gegenständen, sowie zum Copiren und Reduciren aller Arten von Zeichnungen.

Die Form dieses Instrumentes zeigt Fig. 155. **ABCD** ist ein Krystallprisma, worin der Winkel **BAD** 90°, der Winkel **ADC** $67\frac{1}{2}$° und der Winkel **DCB** 135° beträgt. Die Lichtstrahlen eines Objectes **MN** werden von den Flächen **DC** und **CD** reflectirt und gelangen in **E** in's Auge des Beobachters, welcher das Bild **mn** des Objectes **MN** auf einem Blatte weißen Papieres erblicken wird. Wird nun das Auge so nahe an die Kante **B** gebracht, daß es theilweise durch das Prisma und theilweise an ihm vorbeisieht, so erblickt er zu gleicher Zeit das Bild **mn**, das Papier und die Spitze des Griffels, die zum Abzeichnen des Bildes auf dem Papier bestimmt ist. Der Zeichner braucht also dann nur die Umrisse des Bildes auf dem Papier mit seinem Griffel zu verfolgen, indem er das Auge halb über **B**, halb an **B** vorbei hält, um auf einmal Bild, Papier und Griffel sehen zu können.

Viele Zeichner arbeiten mit diesem Instrumente äußerst leicht; anderen dagegen will der Gebrauch desselben nicht glücken. Amici untersuchte die Gründe dieses Mißlingens, und hob sie durch mehre Apparate, die ohne die Fehler des Wollaston'schen Instrumentes sind *). Derjenige dieser Apparate, den Amici für den besten hält, haben wir in Fig. 156 dargestellt. **ABCD** ist eine dicke Krystallplatte mit parallelen Flächen, **FGHC** ein Metallspiegel, dessen Fläche **FG** sehr gut polirt ist und einen Winkel von 45° mit **BC** einschließt. Die Lichtstrahlen des Objectes **MN** gehen durch den Krystall **ABCD**, werden von **FG** reflectirt und dann von der Fläche **BC** des Krystalls in das in **E** befindliche Auge geworfen, so daß das Object **MN** in **mn** gesehen wird, wohin man denn das Papier zum Auffangen bringt. Griffel und Papier sieht man direkt durch den Krystall **ABCD**. Damit die Flächen **AD** und **BC** vollkommen parallel werden, verfertigt

---

*) Einen Bericht über diese Apparate findet man in dem Edinb. Journ. of scien. No. V. pag. 157.

Amici ein dreiseitiges Krystallprisma, schneidet dieses in der Mitte durch, und verbindet dann die beiden prismatischen Hälften ADC, und BCD, so daß sie eine parallele Platte bilden; indem man dann die beiden Prismen langsam an einander fortschiebt, findet man leicht die Lage, worin die beiden Flächen vollkommen parallel sind.

Einundvierzigstes Capitel.

Mikroskope.

Die Mikroskope dienen zur Vergrößerung und Untersuchung sehr kleiner Objecte. Man ist der Meinung, daß Jansen und Drebell jeder für sich das einfache Mikroskop erfunden haben und daß Fontana und Galiläi die ersten Verfertiger von zusammengesetzten Mikroskopen gewesen sind.

§. 197.

Einfaches Mikroskop.

Dies Instrument besteht aus einer Linse oder Kugel einer durchsichtigen Substanz, in deren Brennpunkt man die kleinen zu untersuchenden Objecte bringt. Die von jedem Punkte des Objectes ausfahrenden Strahlen werden dann von der Linse in Parallelstrahlen gebrochen, die, indem sie in das dicht hinter der Linse befindliche Auge dringen, ein deutliches Sehen des Objectes gestatten. Das Vergrößerungsvermögen eines solchen einfachen Mikroskops ist der Entfernung gleich, in welcher man das Object am deutlichsten sieht, durch die Brennweite der Linse oder des Sphäroids dividirt. Beträgt die deutliche Sehweite 5 Zoll, wie dies bei gesunden Augen für kleine Objecte der Fall ist, so ist das Vergrößerungsvermögen einer Linse folgendes:

Brennweite	Lineares Vergrößerungsvermögen.	Areales Vergrößerungsvermögen.
5 Zoll	1	1
1 =	5	25
$\frac{1}{10}$ =	50	2500
$\frac{1}{100}$ =	500	250000

Unter linearem Vergrößerungsvermögen versteht man die Zahl, die angibt, wie oft die Länge sich vervielfacht; unter arealem die Zahl, die angibt, wie oft die Fläche des Objectes sich vervielfacht. Wäre also das Object ein kleines Quadrat, so wird eine Linse von 1 Zoll

Brennweite die Seite des Quadrats 5 Mal, die Fläche desselben aber 25 Mal vergrößern.

Die besten einfachen Mikroskope sind kleine Linsen, die mit einem concaven Instrumente geformt und polirt werden; da jedoch eine genaue Ausführung derselben sehr schwer ist, so nimmt man oft kleine Kugeln statt derselben. Hook verfertigte diese Kugeln auf folgende Weise: er rollte in der Flamme einer Lampe ein dünnes Glasstängelchen kugelförmig zusammen, hielt dieses in die Flamme, bis es zu einer kleinen Kugel zusammenschmolz, und brachte diese dann in eine kleine Brille, so daß zwischen der Kugel und der sie umgebenden Brille kein Lichtstrahl durchgehen konnte; mitunter nahm er dann den Kopf der Kugel weg und polirte die Stelle. Der Pater Torre aus Neapel verfertigte diese Kugeln dadurch, daß er sie in kleine Höhlungen eines Stückes calcinirten Tripels brachte und sie dann mit dem Löthrohre schmolz, wodurch sie eine vollkommene Kugelgestalt erhielten. Butterfield verfertigte ähnliche Kugeln, indem er auf die Spitze einer benetzten Nadel etwas feines Glaspulver brachte und dieses durch die Flamme einer Weingeistlampe zu einer Kugel schmelzen ließ; war dabei der an der Nadel befindliche Theil nicht völlig kugelförmig, so nahm er die Kugel von der Nadel herunter, befestigte sie mit der entgegengesetzten Seite auf einer nassen Nadel, brachte sie von Neuem in die Flamme und setzte dieses so lange fort, bis die Kugel die vollkommene Gestalt hatte. Sivright von Meggetland bringt kleine Glasstücke in runde Löcher einer Platinplatte, die $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{20}$ Zoll Durchmesser haben, und schmilzt diese mit dem Löthrohre, wodurch die Kugeln verfertigt und gleich gefaßt werden. Stephan Gray bringt Wassertropfen in kleine runde Löcher. Ich habe auch solche Linsen aus Oelen und Firnissen verfertigt. Das schönste aller einfachen Mikroskope erhält man jedoch, wenn man auf einer Glasplatte kleine Planconvexlinsen von verschiedenen Flüssigkeiten bildet. Vorzügliche Mikroskope erhielt ich auch mit der sphärischen Krystalllinse der Augen des Barsches und anderer kleiner Fische; man muß nur dafür sorgen, daß die Axe der Linse zugleich die Gesichtsaxe wird, daß also der Beobachter durch die Linse eben so sieht, wie der Fisch es that *).

Die vollkommensten einfachen Mikroskope aus festen Körpern sind

*) Edinburgh Journal of science, No. III. pag. 98.

die aus Granat, Rubin, Saphir und Diamant. Die Vorzüge dieser Linsen sind in meiner Beschreibung neuer physikalischer Instrumente mitgetheilt, und ich habe mir zwei solche Linsen, die eine aus Rubin, die andere aus Granat, von Peter Hill, Optiker zu Edinburg, verfertigen lassen. Diese bewunderungswürdig genau ausgeführten Linsen haben zufolge ihrer Wirkung mit Flächen geringerer Krümmung dasselbe Vergrößerungsvermögen als eine Glaslinse, und die Reinheit des Bildes wird durch die Absorption der blauen Strahlen am Ende des Spectrums verstärkt. Pritchard zu London hat diesen Zweig der Mechanik auf den höchsten Gipfel der Vollendung gebracht und Linsen aus Saphir und Diamant verfertigt, die wahre Meisterstücke sind. Hat man Diamant, der völlig rein und frei von der doppelten Brechung ist, so kann man daraus Linsen von der größten Vollkommenheit verfertigen; der Saphir mit doppelter Brechung entspricht aber immer diesem Zwecke weniger. Granat ist unstreitig die beste Substanz für einfache Linsen, weil er keine doppelte Brechung hat, und man ihn bei geringer Aufmerksamkeit leicht rein und völlig homogen erhalten kann. Ich besitze zwei von Adie verfertigte Mikroskope von Granat, welche alle einfachen Linsen aus einer festen Substanz übertreffen, die mir je zu Gesichte gekommen sind; ihre Brennweite beträgt zwischen $\frac{1}{30}$ und $\frac{1}{50}$ Zoll. Veitch zu Inchbonny hat gleichfalls einige Linsen aus dem merkwürdigen grönländischen Granat verfertigt aus einem Stücke dieses Minerals, welches mir Giesecke geschenkt hatte.

§. 198.

Fig. 157 stellt ein einfaches Mikroskop dar, welches ich vor einigen Jahren erfunden habe; man bedient sich dabei auf eine neue Manier einer halbkugelförmigen Linse, wodurch diese ein doppelt so großes Vergrößerungsvermögen bekommt, als sie bei der gewöhnlichen Manier hat. **ABC** ist eine halbkugelförmige Linse; alle Lichtstrahlen eines Objectes **R** werden zuerst von der Vorderfläche **AC** gebrochen, dann erleiden sie von der Fläche **BC** eine totale Reflexion, werden hierauf von der Fläche **BA** abermals gebrochen und treten in paralleler Richtung aus, ganz so, als ob sie in dem Punkte a, bc nicht reflectirt, sondern als wenn sie durch die Halbkugel **BA'C** der ganzen Kugel **ABA'C** hindurch gegangen wären; das Object **R** wird daher eben so vergrößert und eben so deutlich gesehen, als wenn es durch die sphärische Glaslinse **ABA'C** wahrgenommen würde. Durch

diese Erfindung erhält man also alle Vortheile einer sphärischen Linse, die man meiner Meinung nach nicht durch Schleifen erhalten kann. Das periskopische Princip, von dem oben die Rede gewesen ist, kann diesen sogenannten katoptrischen Linsen mitgetheilt werden, indem man die Winkel B und C einfach abrundet oder eine Ringfläche statt der Ebene BC formt. Durch diese Vorrichtung vermeidet man die von der schiefen Brechung herrührende Verwirrung; die Lichtstrahlen eines jeden Punktes des Objects fallen symmetrisch auf die Linse und werden symmetrisch gebrochen.

Ehe ich an diese Linse gedacht hatte, bediente sich Wollaston folgender Methode (Fig. 158): er brachte zwischen zwei gleich dicke Planconvexlinsen von gleichem Halbmesser eine Metallplatte mit einem runden Loche, dessen Durchmesser $\frac{1}{5}$ der Brennweite betrug; bei gut centrirter Oeffnung war dann das Gesichtsfeld 20. In dieser zusammengesetzten Linse nehmen schräge Lichtstrahlen einen Weg, wie Lichtstrahlen, die vom Mittelpunkte aus unter rechtem Winkel auf die Oberfläche fallen. Vergleicht man diese Linse mit der vorhin beschriebenen, katoptrischen, so findet man den Effekt von zwei Kugelflächen und zwei Planflächen, die für sich gemacht sind, dem Effekt einer Kugel- und Planfläche gleich.

§. 199.

Die Idee von Wollaston kann durch andere Mittel auf eine nützliche Weise ausgeführt werden, indem man das Centralloch mit einem Cemente von gleichem Brechungsvermögen mit den Linsen füllt, oder was noch besser geht, indem man eine Glaskugel in den Theilen am Aequator so zurichtet, wie Fig. 159 zeigt. Wird diese Construction in Granat ausgeführt, und bedient man sich dann eines gleichartigen Lichtes, so erhält man das beste, einfachste Mikroskop oder das beste Objectiv für zusammengesetzte Mikroskope. Betrachtet man dunkle Körper durch das einfache Mikroskop, so wird dieses in einen silbernen Concavspiegel gefaßt, welcher die parallelen und convergirenden Strahlen auf die dem Auge zunächst liegende Fläche des Objectes concentrirt.

§. 200.

Zusammengesetzte Mikroskope.

Besteht ein Mikroskop aus zweien oder mehreren Linsen oder Spiegeln, von denen die eine ein ausgebreitetes Bild der Objekte gibt, welches die andere vergrößert, so nennt man das Mikroskop ein zu-

sammengesetztes. Fig. 160 zeigt die Linsen mit ihren Wirkungen; AB ist das Objectiv (das dem Objecte zugekehrte Glas) und CD das Ocular (das dem Auge zugekehrte Glas). Ein Object MN, welches etwas über die Hauptbrennweite von AB hinausliegt, erzeugt ein vergrößertes umgekehrtes Bild in mn. Liegt dies Bild im Brennpunkte einer andern Linse CD, die aber viel näher am Auge sich befindet, als sie es in der Zeichnung ist, so wird das Bild abermals vergrößert, eben so, als wenn mn das Object selbst wäre. Die vergrößernde Kraft der Linse AB findet man, wenn man die Entfernung des Bildes mn vor der Linse AB durch den Abstand des Objectes MN von dieser Linse dividirt, und die Vergrößerungskraft der Linse CD findet sich wie für einfache Mikroskope; multiplicirt man dann die beiden Zahlen, so hat man die Totalwirkung des zusammengesetzten Mikroskops. Ist z. B. MA $\frac{1}{4}$ Zoll, mn $\frac{1}{2}$ Fuß, und steht mn im Brennpunkt von CD, so ist der Effekt von AB 20, der von CD 10, also der Totaleffekt 200. Eine Linse EF, das sogenannte Collectivglas, größer als jede der beiden Linsen AB und CD, steht in der Regel zwischen AB und dem Bilde mn, um das Gesichtsfeld zu vergrößern. Dieses Glas vermindert den Effekt des zusammengesetzten Mikroskops, indem es ein kleines Bild pv gibt, welches von CD vergrößert wird.

Die Gelehrten und Künstler haben allen ihren Erfindungsgeist in der Untersuchung erschöpft, welche Form die beste für das Objectiv und Ocular eines zusammengesetzten Mikroskopes sei. Coddington empfiehlt vier Linsen für das Ocular, die wie in Fig. 161 zusammengestellt sind; als Objectiv nimmt er eine im Aequator ausgehöhlte Kugel (Fig. 159), um die Aberration und Zerstreuung zu verringern. »Mit einer im Centrum gut ausgeschnittenen Kugel,« sagt er, »wodurch die Aberration und Zerstreuung fast ganz aufgehoben wird, was sich meinen Erfahrungen zufolge vollständig und leicht ausführen läßt, wird das ganze Bild vollkommen deutlich, welche Ausdehnung man ihm auch geben mag, und der Halbmesser der Krümmung ist der Brennweite gleich, so daß die eine Schwierigkeit völlig entfernt und die andere wenigstens halb aufgehoben ist. Diese Einrichtung scheint außerdem noch einen andern Vorzug zu haben, den ich nicht vorhersehen konnte und deren Gründe ich noch nicht einsehe. Ich glaubte, daß wenn ein Lichtstrahl, der zum Auge gelangt, nachdem er ohne Abwei-

chung durch eine Linse gegangen ist, von dem Auge zurückgeschickt wird, das Sehen nie frei von farbigen Säumen sei, die durch die excentrische Zerstreuung erzeugt werden. Mit einer Kugel nimmt man diesen Fehler nicht wahr, weshalb ich auch der Meinung bin, daß wenn man eine Krystallkugel nach einem hinlänglich kleineren Maßstabe verfertigen könnte, dieses mit etwaiger Ausnahme des doppelten Mikroskops von Wollaston das vollkommenste einfache Mikroskop sein würde. Die Kugelform paßt am besten für das Objectiv eines zusammengesetzten Instrumentes, weil sie ein vollkommen deutliches Bild von beliebiger Ausdehnung gibt und weil sie in Verbindung mit einem passenden Oculare, ohne Schwierigkeit für dunkle Objecte angewendet werden kann *).« Die von Coddington erwähnte Schwierigkeit, eine Kugel nach einem sehr kleinen Maßstabe zu erhalten, ist durch die vorhin angeführten Mittel nicht unüberwindlich, verschwindet aber gänzlich, wenn man statt ihrer eine Halbkugel Fig. 157 nimmt und die Oeffnung nach der angegebenen Methode verkleinert.

Das doppelte Mikroskop von Wollaston Fig. 162 besteht aus zwei Planconvexlinsen m und n, deren ebene Flächen dem Objecte zugekehrt sind. Die Brennweiten dieser Linsen verhalten sich wie 1 zu 3 und ihr Abstand beträgt $1\frac{4}{10}$ Zoll bis $1\frac{1}{2}$ Zoll, wobei die convexe Fläche der letzteren sich dicht am Auge befindet. Die Röhre ist etwa 6 Zoll lang, und hat am untern Ende eine kreisförmige Oeffnung von $\frac{3}{10}$ Zoll Durchmesser, durch welches das von R herkommende Licht von einem unter ihm befindlichen Planspiegel geworfen wird. Am obern Ende der Röhre befindet sich eine Planconvexlinse AB von etwa $\frac{3}{4}$ Zoll Brennweite, deren Planseite dem Auge zugekehrt ist, und deren Zweck darin besteht, in e ein deutliches Bild des Kreisloches, etwa $\frac{1}{10}$ Zoll von AB entfernt, zu geben. Mit diesem Instrumente erblickte Wollaston die schönsten Streifen und Zahnschnitte auf den Schuppen des **Lepisma** und **Podura** **), sowie auf den Schuppen der Lichtschnuppenflügel.

§. 201.

Neuerdings hat man doppelte und dreifache achromatische Linsen zu den Gläsern in Mikroskopen genommen und deren zwei oder drei

---

*) Transactions of Cambridge 1830.

) Zwei ungeflügelte Insekten, zu der Classe der **aptera gehörig. Besondere Arten davon sind der Schneefloh und der Zuckergast. A. d. Ü.

in demselben Instrumente verbunden; obgleich sie indeß sehr gut gelungen und in gewisser Rücksicht vollkommener waren, als die gewöhnlichen Gläser guter Instrumente *), so macht sie doch der Umstand, daß man genöthigt ist, gleichartiges Licht anzuwenden, gewissermaßen unnütz; besonders wenn man sich der doppelten Herschel'schen Linsen bedient, die in Fig. 43 und 44 abgebildet und von aller Aberration wegen der Kugelgestalt frei sind. Die Linse Fig. 44 hat $\frac{1}{5}$ Zoll Brennweite und eine Oeffnung von $\frac{1}{15}$ Zoll, und Pritchard, in dessen Händen sie ist, versichert, daß sie alle, selbst dunkle Objecte, mit großer Leichtigkeit erleuchtet.

Bei der Anwendung eines zusammengesetzten Mikroskopes zu naturhistorischen Gegenständen habe ich die Eintauchung des Objectes in eine Flüssigkeit empfohlen, um ihre feinsten Theile zu entfalten und ihnen die Lage und das Ansehen zu geben, was sie in der Natur haben. Dabei ist es räthlich, die Vorderfläche des Objectivs gleichfalls in die Flüssigkeit einzutauchen; bedient man sich dann einer Flüssigkeit von größerem Zerstreuungsvermögen als das Objectiv hat, und richtet man die innere Fläche nach der Differenz dieser Zerstreuungsvermögen ein, so wird das Objectiv völlig achromatisch. Da der Vorzug eines solchen Instrumentes zur Beobachtung kleiner Thiere und feiner Körpertheilchen von Brown anerkannt ist, so enthalten wir uns, etwas Weiteres darüber zu sagen.

§. 202.
Reflectirende Mikroskope.

Das einfachste Instrument dieser Art ist ein Concavspiegel, in welchem die Gestalt des Beobachters immer vergrößert erscheint, wenn der Brennpunkt des Spiegels über den Beobachter hinaus liegt. Ist der Spiegel sehr concav, so wird ein kleines Object mn Fig. 14 stark vergrößert MN, und das Auge, welches dieses Bild sieht, hat ein einfaches reflectirendes Mikroskop, welches so oft vergrößert, als der Abstand An des Objects vom Spiegel in dem Abstande AM des Bildes enthalten ist.

Betrachtet man aber das Bild MN nicht mit bloßem Auge, sondern mit einer Vergrößerungslinse, so verwandelt sich das einfache reflectirende Mikroskop in ein zusammengesetztes, welches aus einem

*) Edinburgh Journal of science, No. VIII., new ser. pag. 244.

Spiegel und einer Linse besteht. Dieses Instrument wurde zuerst von Newton eingerichtet, blieb aber lange außer Gebrauch, bis es neuerdings Amici verbesserte und wieder anwandte. Ich habe einen concaven ellipsoidischen Reflector gebraucht, dessen Brennweite $2\frac{2}{5}$ Zoll betrug. Das Bild zeigte sich im andern Brennpunkte der Ellipse und wurde durch ein doppeltes oder einfaches Objectiv vergrößert, welches 8 Zoll vom Reflector entfernt war. Da man das Object mn nicht erleuchten kann, wenn es wie in Fig. 14 gestellt ist, so brachte Amici es außerhalb des Tubus unter die Linie BN, und ließ es von einem zwischen mn und AB gestellten kleinen Metallspiegel von der halben Größe des größern Metallspiegels AB in diesem reflectiren.

Goring, der sich um alle Mikroskope so große Verdienste erworben hat, verbesserte auch dieses Instrument bedeutend. Er bedient sich eines kleinen ebenen Metallspiegels, der noch nicht den dritten Theil des Durchmessers von concaven Metallspiegeln zum Durchmesser hat, und er wendet folgende Spiegel von sehr kurzen Brennweiten an:

Brennweite.	Oeffnung.
1,5 Zoll	0,6 Zoll
1,0 „	0,3 „
0,6 „	0,3 „
0,3 „	0,3 „

Der sinnreiche Künstler Cuthbert, der diese Verbesserungen ausführte, hat so eben wahre elliptische Metallspiegel vollendet, deren Oeffnung der Brennweite gleich ist. Das Mikroskop hat solche Spiegel von $\frac{1}{2}$ Zoll Brennweite, $\frac{1}{2}$ Zoll Oeffnung, $\frac{3}{10}$ Zoll Brennweite und $\frac{3}{10}$ Zoll Oeffnung. Goring versichert, mit diesem Instrumente eine Reihe länglicher Linien auf den Schuppen des podura außer den schon bekannten zwei Reihen diagonaler Linien, und zwei Reihen diagonaler Linien auf den Schuppen des Kohlweißlings (Buttervogel) außer den früher schon beobachteten zwei Reihen mit gekreuzten Bändern gefunden zu haben *).

§. 203.

Mikroskopische Objecte.

Goring hat das Verdienst, zuerst den Gebrauch der mikroskopischen Objecte oder solcher Objecte eingeführt zu haben, deren Textur

---

*) Edinburgh Journal of science, new series No. IV. pag. 321.

und Untersuchung eine gewisse Vorzüglichkeit der Mikroskope in Anspruch nimmt, um deutlich gesehen zu werden. Fig. 163 stellt einige dieser Objecte dar, wie sie Pritchard mittheilt. A ist der Flügel des menelas, B und C das Haar der Fledermaus, D und E das Haar der Maus. Die mikroskopischen Objecte, welche die größte Schwierigkeit darbieten, sind die Schuppen des peduca und des Kohlweißlings, von denen schon oben die Rede gewesen ist.

§. 204.

Regeln für mikroskopische Beobachtungen.

1) Das Auge muß gegen alles fremde Licht geschützt sein und nur das Licht erhalten, welches von dem strahlenden Mittelpunkte ausgeht, das Licht ausgenommen, welches von dem Object durchgelassen oder reflectirt wird.

2) Man kann keine feine Beobachtungen machen, wenn die Flüssigkeit, welche die Hornhaut des Auges feucht erhält, in einem fehlerhaften Zustande ist.

3) Die beste Stellung für mikroskopische Beobachtungen ist die horizontale Lage des Beobachters auf dem Rücken; sie rührt von der vollkommenen Festigkeit des Kopfes, und von der Gleichmäßigkeit der feucht machenden Schicht des Fluidums her, welches die Hornhaut bedeckt. Die schlechteste Stellung hat der Beobachter, wenn er vertikal nach unten sieht.

4) Steht der Beobachter aufrecht, und sieht er in horizontaler Richtung fort, so erblickt er die parallelen Linien besser, wenn ihre Richtung vertikal ist, weil die feucht machende Flüssigkeit auf der Hornhaut nach dieser Richtung fortfließt.

5) Man muß jeden Theil des Objectes ausschließen, der nicht unmittelbar der Beobachtung unterworfen ist.

6) Das Licht, welches das Object erleuchtet, muß einen sehr kleinen Durchmesser haben. Bei Tage muß dieses ein bloßes Loch im Fensterladen eines dunklen Zimmers, und bei Nacht eine Oeffnung vor einer Argandischen Lampe sein.

7) Bei allen Beobachtungen, vorzüglich aber, wenn man eine stark mikroskopische Kraft anwendet, muß der natürliche Durchmesser des erhellenden Lichtes durch optische Mittel verkleinert und seine Intensität vergrößert werden.

8) Bei jeder mikroskopischen Beobachtung muß man gelbes gleich-

artiges Licht anwenden, welches man sich mit der monochromatischen Lampe verschafft. Gleichartiges rothes Licht erhält man durch gefärbte Gläser. *)

§. 205.

Sonnenmikroskop.

Das Sonnenmikroskop ist nur eine magische Laterne, in welcher das Sonnenlicht die Stelle der Lampe vertritt. Die Röhre **AB** (Fig. 154) steckt in einem Loche des Fensterladens, und das Sonnenlicht wird von einem langen Spiegelstücke reflectirt, welches der Beobachter bewegen kann, damit das Sonnenlicht immer in den Tubus tritt.

Die lebenden oder naturhistorischen Objecte werden auf das Glas in dem Falze oder an die Spitze einer Nadel gebracht und in die Oeffnung **CD** geschoben, wo sie von den Sonnenstrahlen erleuchtet werden, die von der Linse **AC** concentrirt sind. Es bildet sich dann ein lebhaftes und vergrößertes Bild auf dem Schirme **EF**.

Wer eine genauere Kenntniß aller Arten von Mikroskopen zu haben wünscht, findet Belehrung in den Artikeln: Mikroskop in der Edinburger Encykl. Band **XIV**. Seite 215 bis 233. In dem neuerdings erschienenen Werke von Young und Pritchard: »Mikroskopische Untersuchungen, London 1830,« sind viele ausgezeichnete und interessante Beobachtungen mitgetheilt.

Zweiundvierzigstes Capitel.

Dioptrische und katoptrische Fernröhre. Refractoren und Reflectoren.

§. 206.

Astronomische Fernröhre.

Es möchte schwerlich zu bezweifeln sein, daß die Erfindung des Fernrohres sich aus dem 13. Jahrhundert datirt, daß Roger Bacon es vollkommen kannte, daß Leonhard und Thomas Digges sich desselben in England bedienten vor Jansen und Galiläi. Das Princip des Refractors (des dioptrischen Fernrohrs) und die Mittel zur Bestimmung seines Vergrößerungsvermögens haben wir schon früher mitgetheilt; es bleibt uns also nur eine Beschreibung der verschiedenen Form übrig, die es allmählich angenommen hat.

---

*) Vergleiche den Artikel Mikroskope in der Edinburger Encyklop. Band **XIV**. S. 228.

Das astronomische Fernrohr (Fig. 164) besteht aus zwei Converlinsen **AB** und **CD**, von denen das erste Objectiv, weil es dem Objecte am nächsten, das zweite Ocular heißt, weil es dem Auge am nächsten liegt. Das Objectiv hat eine große, das Ocular eine kleine Brennweite. Im Brennpunkte des Objectivs **AB** erzeugt sich ein verkehrtes Bild **mn** jedes entfernten Objectes **MN**, und dies Bild wird von dem Oculare **CD** vergrößert. Führt man Lichtstrahlen durch beide Linsen, so treten diese offenbar parallel in's Auge **E**. Befindet sich das Object nahe beim Beobachter, so ist das Bild **mn** weiter von **AB** entfernt, und das Ocular **CD** muß von **AB** entfernt werden, um das Bild **mn** deutlich zu sehen. Man hat zu diesem Ende das Objectiv in einer Röhre befestigt, die länger als seine Brennweite ist, und das Ocular in einer kleinen Röhre, die sich in der größern auf- und abschieben läßt, je nach der verschiedenen Entfernung der Objecte. Die vergrößernde Kraft des Fernrohres ist dem Quotienten aus der Brennweite des Objectivs, dividirt durch die Brennweite des Oculars, gleich.

Solche Fernröhre wurden von Campani, Divini und Huygens von der ausnehmenden Länge von 120 bis 136 Fuß verfertigt; mit 12 und 24 Fuß langen Instrumenten dieser Art entdeckte Huygens den Ring und den vierten Trabanten des Saturn. Um bei Objectiven von solchen Brennweiten den Uebelstand zu vermeiden, sich mit den Röhren den Weg zu sperren, brachte Huygens das Objectiv in eine sehr kurze Röhre an einem langen Gerüste, so daß die Röhre mit Hilfe eines Seiles auf einem runden Zapfen in alle Richtungen und in eine gerade Linie mit der Ocularröhre gebracht werden konnte, die er in der Hand hielt.

Da diese Fernröhre allen Mängeln der Aberration wegen der Brechbarkeit und der Kugelgestalt unterliegen, so können sie kein deutliches Object geben, wenn die Oeffnung des Objectivs etwas groß ist, und in dieser Beziehung ist die vergrößernde Kraft begrenzt. Huygens fand folgende Verhältnisse als die passendsten:

Brennweite des Objectivs.	Oeffnung des Objectivs.	Brennweite des Oculars.	Vergrößerungsvermögen.
1 Zoll	0,545 Zoll	0,605 Zoll	20
3 „	0,94 „	1,04 „	33½
5 „	1,21 „	1,33 „	44
10 „	1,71 „	1,88 „	62
50 „	3,84 „	4,20 „	140
100 „	5,40 „	5,95 „	197
120 „	5,90 „	6,52 „	216

Das astronomische Fernrohr gibt immer das Object mn in verkehrter Lage.

§. 207.

Erdfernrohr.

Um das Fernrohr den irdischen Gegenständen anzupassen und diese aufrecht darzustellen, erhält dasselbe, wie Fig. 165 zeigt, noch zwei Linsen **EF** und **GH**, die mit **CD** einerlei Brennweite haben, und in Entfernungen gleich der doppelten Brennweite aufgestellt sind. Sind die Brennweiten nicht gleich, so muß die Entfernung jedes Glases der Summe ihrer Brennweite gleich sein. In diesem Fernrohre ist der Gang der Lichtstrahlen ganz so wie im astronomischen, bis an den Punkt **L**, wo die zwei Büschel der Parallelstrahlen **CL** und **DL** sich im vordern Brennpunkte **L** des zweiten Oculars **EF** schneiden. Die auf **EF** fallenden Strahlen geben dann in ihrem Hauptbrennpunkte ein aufrechtstehendes Bild **m′n′**, welches durch das dritte Ocular auch als solches gesehen wird, weil die aus **n′** und **m′** divergirenden Strahlen in dem Brennpunkte **GH** in parallelen Büscheln in's Auge gelangen. Das Vergrößerungsvermögen dieses Fernrohres ist dem des astronomischen gleich, in welchem die Oculare gleich sind.

§. 208.

Galiläi's Fernrohr.

Galiläi's Fernrohr unterscheidet sich von dem astronomischen nur durch das concave Ocular **CD** (Fig. 166), welches die Stelle des convexen im astronomischen Fernrohre vertritt. Die Concavlinse **CD** steht zwischen dem Bilde **mn** und dem Objective, so daß das Bild sich in dem Hauptbrennpunkte der Linse befindet. Die Strahlen **NBn**, **MBm** fallen auf **CD** convergirend aus seinem Hauptbrennpunkte, werden also in parallelen Richtungen gebrochen, und gelangen in **E** in's Auge, wo sie ein deutliches Sehen veranlassen. Man rechnet das Vergrößerungsvermögen dieses Fernrohres ganz so wie beim astronomischen aus; es hat ein kleineres und nicht so bequemes Gesichtsfeld als dieses, gewährt aber den Vortheil eines aufrechtstehenden und deutlicheren Bildes.

§. 209.

Gregory's Fernrohr.

Der Pater Zucchius scheint der erste gewesen zu sein, welcher die Objecte mittelst einer Linse oder eines concaven Metallspiegels ver-

größerte; man weiß jedoch nicht, ob er einen Reflector mit einer kleinen Linse construirt hat.

James Gregory hat dieses Instrument zuerst beschrieben; er scheint es jedoch nicht ausgeführt zu haben, und Newton gebührt die Ehre, ein solches mit eigenen Händen verfertigt zu haben.

Figur 167 stellt das Gregory'sche Fernrohr dar. AB ist ein hohler Metallspiegel mit einem Loche in der Mitte. Für sehr entfernte Objecte muß der Spiegel parabolisch gekrümmt sein; für nahe Objecte kann er eine Ellipse sein, in deren entferntestem Brennpunkte das Object und in deren nächstem Brennpunkte das Bild sich befindet; in beiden Fällen ist der Spiegel frei von aller sphärischen Aberration. Da man aber dem Metallspiegel eine solche Krümmung nicht leicht geben kann, so begnügen sich die Optiker mit einer genauen Kugelgestalt. Vor dem Spiegel AB steht ein kleiner metallener Hohlspiegel CD, welcher dem großen mit Hilfe einer am Tubus befestigten Stellschraube W genähert, und von ihm entfernt werden kann. Dieser Spiegel sollte eigentlich auch elliptisch sein, erhält aber in der Regel die Kugelgestalt. Das Ocular besteht aus zwei Converlinsen E und F, deren Abstand der halben Summe ihrer Brennweite gleich ist, steckt in der Röhre des großen Spiegels und steht fest. Fallen die Lichtstrahlen MA und NA, die von dem Endpunkte M und N eines Objects fast in paralleler Richtung herkommen, auf den Spiegel AB, so geben sie ein verkehrtes Bild mn, wie wir deutlich in (Fig. 14) sehen können.

Ist dieses Bild mn weiter vom kleinen Spiegel CD entfernt als sein Hauptbrennpunkt, so erhält man ein umgekehrtes Bild n'm' von mn oder ein aufrechtes von dem Object MN zwischen E und F, indem die Strahlen durch die Oeffnung des großen Spiegels gehen. Dieses Bild m'n' erblickt man durch ein converes Ocular F vergrößert; es ist jedoch vorzuziehen, die convergirenden Lichtstrahlen auf einer Linse L, dem sogenannten Collectivglase, aufzufangen, welches ihre Convergenz befördert und das Bild mn in den Brennpunkt der Linse F bringt, von der es vergrößert wird, oder, was dasselbe ist, die divergirenden Lichtstrahlen des Bildes m'n' werden von F so gebrochen, daß sie parallel in's Auge gelangen und ein deutliches Bild des Objectes geben. Wird das Object MN dem Spiegel AB genähert, so entfernt sich mn von AB, nähert sich also CD; folglich wird das Bild m'n'

in dem conjugirten Brennpunkte **CD** von seinem Platze gerückt und erscheint undeutlich. Dann braucht man aber nur die Schraube **W** zu drehen und **CD** von **AB** zu entfernen, wodurch m'n' wieder auf seinen vorigen Platz kommt und deutlich gesehen wird.

Das Vergrößerungsvermögen dieses Fernrohres findet man nach folgender Regel: Man multiplicire die Brennweite des großen Spiegels durch den Abstand des kleinen Spiegels vom Bilde am Auge, welches sich in dem vordern Brennpunkte des convexen Oculars bildet; man multiplicire ferner die Brennweite des kleinen Spiegels mit der Brennweite des Oculars; das erste Produkt durch das zweite dividirt, gibt das Vergrößerungsvermögen des Fernrohrs.

Bei dieser Regel ist jedoch vorausgesetzt, daß das Ocular aus einem einzigen Glase besteht.

Die folgende Tabelle, welche die Brennweite, die Oeffnungen, das Vergrößerungsvermögen und die Preise der Fernröhre von Schort enthält, zeigt den großen Vorzug der katoptrischen Fernröhre vor den dioptrischen.

Brennweite.	Oeffnung.	Vergrößerungsvermögen.	Preis.
1 Zoll	3,0 Zoll	35 bis 100	14 Livr. (87 Thlr. Pr.)
2 =	4,5 =	90 — 300	35 = 218 Thlr.
3 =	6,3 =	100 — 400	75 = 468 Thlr.
4 =	7,6 =	120 — 500	100 = 624 Thlr.
7 =	12,2 =	200 — 800	300 = 1872 Thlr.
12 =	18,0 =	300 — 1200	800 = 4993 Thlr.

§. 210.

Cassegrain's Fernrohr.

Dieses unterscheidet sich von dem vorigen nur dadurch, daß der kleine Spiegel **CD** nicht ein Hohlspiegel, sondern ein Convexspiegel ist (Fig. 168). Der Spiegel steht deßhalb vor dem Bilde **mn** des Objectes, und es bildet sich ein aufrechtes Bild **m'n'** zwischen **E** und **F**, ganz wie bei Gregory's Fernrohr, nur mit dem Vorzuge, daß dieses Fernrohr um mehr als die zweifache Brennweite des kleinen Spiegels kürzer ist; auch soll es im Allgemeinen mehr Licht und ein deutlicheres Bild geben, weil der convexe Spiegel die Aberration des Concavspiegels corrigirt.

§. 211.

Newton's Fernrohr.

Newton's Fernrohr kann als eine Verbesserung der Gregory=

schen angesehen werden und ist in Fig. 169 abgebildet. AB ist ein metallener Hohlspiegel, und mn das umgekehrte Bild, welches die von dem Objecte MN kommenden Lichtstrahlen erzeugen. Da man das Auge nicht in den Tubus bringen kann, um das Bild zu vergrößern, ohne daß man das von dem Objecte kommende Licht sperrt, so steht ein kleiner Planspiegel CD, gegen die Axe des großen Spiegels unter 45° geneigt, und von ovaler Form mit Halbmessern im Verhältniß von 7 zu 5, zwischen dem Spiegel und dem Bilde mn, und reflectirt das Bild seitwärts in m′n′, wo es von dem Oculare E vergrößert wird, welches die Lichtstrahlen parallel in's Auge gelangen läßt. Der kleine Spiegel steht auf einem dünnen Arm, welcher ihn in einem Falze dem größern Spiegel AB nähert oder von ihm entfernt, so wie das Bild mn sich nähert oder entfernt. Diese Vorrichtung nähert oder entfernt auch zu gleicher Zeit das Ocular E vom kleinen Spiegel. Das Vergrößerungsvermögen dieses Fernrohres ist dem Quotienten aus der Brennweite des großen Spiegels, dividirt durch die Brennweite des Oculars, gleich.

Da bei der Reflexion von dem Metalle beinahe die Hälfte Licht verloren geht, so schlug Newton statt des Metallspiegels ein rechtwinkliches Prisma ABC (Fig. 148) vor, in welchem das Licht eine vollständige Reflexion erleidet. Man müßte dann aber ein Glas ohne alle Farbe, ohne Flecken und Adern haben, und bis jetzt hat man sich der Prismen nicht bedient, weil es an passendem Glase fehlt. Newton hatte auch vorgeschlagen, die beiden Seiten des Prisma convex zu schleifen, wie DEF (Fig. 148); stellt man ein solches Prisma zwischen das Object und das Bild, so würde dieses nicht allein die richtige Lage erhalten, sondern man könnte auch das Vergrößerungsvermögen des Fernrohrs verändern. Dies von Newton eigenhändig verfertigte Teleskop wird in der Bibliothek der Akademie aufbewahrt.

Folgendes sind die Dimensionen Newton'scher Fernröhre, die nach einem guten von Hawksbe verfertigten Instrumente abgenommen sind:

Brennweite des großen Spiegels.	Oeffnung des Spiegels.	Brennweite des Oculars.	Vergrößerungsvermögen.
1 Zoll	2,23 Zoll	0,129 Zoll	93
2 =	3,79 =	0,152 =	158
3 =	5,14 =	0,168 =	214
4 =	6,36 =	0,181 =	265
6 =	8,64 =	0,200 =	360
12 =	14,50 =	0,238 =	604
24 =	24,41 =	0,283 =	1017

§. 212.

Wegen des großen Lichtverlustes bei Reflexionen von Metallspiegeln, der sich nach Potter's sorgfältigen Untersuchungen *) bei einem Einfallswinkel von 45° bis auf 45 Strahlen von 100 erhebt, und in Erwägung der Unvollkommenheiten der Reflexion, die selbst bei den vollkommensten Flächen immer fünf bis sechs Mal so bedeutend sind, als bei der Refraction, habe ich ein Newtonsches Fernrohr von der Form (Fig. 170) in Vorschlag gebracht. AB ist ein metallner Hohlspiegel, mn das Bild des Objectes MN und CD ein achromatisches Prisma, welches das Bild mn in eine schräge Lage bricht, so daß das Auge in E es mit einer vergrößernden Linse auffangen kann. Das Prisma dient nur dazu, die Strahlen senkrecht zu brechen, damit der Beobachter das Bild sehen könne, ohne die vom Objecte herkommenden Lichtstrahlen zu sperren. Da die achromatischen Prismen aus Kron- oder aus Flintglas mit einer Substanz von mittlerem Brechungsvermögen zusammengekittet werden können, so geht weiter kein Licht verloren, als was von beiden Flächen reflectirt wird.

Statt den kleinen Spiegel CD des Newtonschen Fernrohres (Fig. 169) unter 45° gegen die einfallenden Strahlen zu stellen, habe ich eine schrägere Lage desselben in Vorschlag gebracht, so daß er das Bild mn (Fig. 170) außer die Richtung des Beobachters und nicht weiter reflectirt. Dann ist freilich ein größerer Planspiegel CD nöthig, allein die größere Schiefe der Reflexion compensirt diesen Fehler hinlänglich. Auch könnte man sich, wie ich glaube, eines kleinen dunklen Glasspiegels von starkem Brechungsvermögen bedienen, der bei großen Einfallswinkeln eben so viel Licht reflectirt, als Metallspiegel, und besser zu poliren ist. Die schönen Flächen mancher Krystalle, z.

*) Edinburgh Journ. of science, new series Nro. VI. pag. 283.

B. des weißen Rubins, des Zinnoxyds und Diamants, lassen sich dazu anwenden.

Ein Newtonsches Fernrohr ohne Ocular erhält man, wenn man sich eines reflectirenden Glasprismen mit einer oder zwei concaven Flächen bedient und dieses zwischen das Bild mn und den großen Spiegel so stellt, daß es die Strahlen parallel in's Auge wirft. Das Vergrößerungsvermögen wird dann der Brennweite des großen Spiegels dividirt durch den Halbmesser der concaven Fläche des Prisma gleich sein, wenn beide Flächen concav und von gleicher Concavität sind, oder durch den doppelten Halbmesser, wenn nur eine der beiden Flächen concav ist.

§. 213.

Herschel's Fernrohr.

Die schönen von Schort verfertigten Gregoryschen Teleskope hatten vor allen andern so viele Vorzüge, daß das Newtonsche ganz außer Gebrauch kam. Herschel faßte es wieder auf, und seine Arbeiten bilden die schönste Epoche der optischen Wissenschaften. Mit einem unglaublichen Eifer verfertigte er nicht weniger als 200 Newtonsche Teleskope von 6 Fuß, 150 von 10 Fuß und 80 von 20 Fuß Brennweite. Aber auch damit begnügte er sich nicht; unter dem großmüthigen Schutze Georg's III. fing er 1785 sein Riesenteleskop von 40 Fuß Länge an und entdeckte damit am 27. August 1789 am Tage, wo es vollendet wurde, den sechsten Trabanten des Saturn.

Der große Spiegel dieses Instruments hat 49½ Zoll Durchmesser, die concave Fläche aber nur 48 Zoll; die Dicke desselben beträgt etwa 3½ Zoll, er wog nach dem Guße 2118 englische Pfund (über 2050 Preuß. Pfund), und hat eine Brennweite von 40 Fuß. Die Länge der Röhre aus Eisenblech, welche den Spiegel enthält, beträgt 39 Fuß 6 Zoll, ihr Durchmesser 4 Fuß 10 Zoll. Mit Hilfe von kleinen Converlinsen erhielt Herschel eine 6450malige Vergrößerung für Firsterne; im Allgemeinen war jedoch die Vergrößerung viel kleiner.

Bei diesem Fernrohr sieht der Beobachter in die Oeffnung des Tubus, den Rücken gegen das Object gekehrt, das Bild wird unmittelbar durch das Ocular vergrößert, so wie es der große Spiegel gibt, ohne daß man einen kleinen Spiegel anwendet. Damit der Kopf oder Körper des Beobachters nicht zu viel von dem einfallenden Lichte

sperre, liegt das Bild außer der Axe des Spiegels und muß daher eine geringe Abweichung haben.

Da das Instrument der freien Luft ausgesetzt war, so hat es stark gelitten, und man ersetzte es durch ein anderes Fernrohr von 20 Fuß Brennweite mit einem Spiegel von 18 Zoll Durchmesser, welches 1822 von J. F. W. Herschel aufgestellt wurde, und mit dem man viele wichtige Beobachtungen gemacht hat.

§. 214.

Ramage's Fernrohr.

Ramage in Aberdeen hat mehre sehr lange Newtonsche Fernröhre von starker Vergrößerung verfertigt. Unter diesen befindet sich das größte Fernrohr, was gegenwärtig in England und (so viel ich weiß) in ganz Europa gebraucht wird; es wurde 1820 auf der Sternwarte zu Greenwich aufgestellt. Der große Spiegel hat eine Brennweite von 25 Fuß und einen Durchmesser von 15 Zoll. Das Bild entsteht außer der Axe des Spiegels, der so gestellt ist, daß das Bild zur Seite fällt, wo der Beobachter es wahrnehmen kann, ohne die einfallenden Strahlen zu sperren. Der Tubus ist ein zwölfseitiges Prisma, und wenn man sich des Instrumentes nicht bedient, so wird es in ein Gehäuse gebracht und mit einem Tuche bedeckt. Der Apparat zur Bewegung und Richtung dieses Instruments ist ungemein einfach und zeugt von der Geschicklichkeit des Künstlers.

Dreiundvierzigstes Capitel.

Achromatische Fernröhre.

§. 215.

Das Princip des achromatischen Fernrohrs ist (Cap. 7) mit wenigen Worten entwickelt; wir haben dort gezeigt, wie eine Convexlinse in Verbindung mit einer Concavlinse von größerer Brennweite und einer stärkern brechenden und zerstreuenden Kraft eine farblose Brechung geben und also ein Bild erzeugen könne, welches von den ersten prismatischen Farben frei ist. Dies läßt sich mathematisch beweisen, und der Leser überzeugt sich davon, wenn er den Gang der Lichtstrahlen durch zwei Linsen zeichnet, von denen die eine concav, die andere convex ist; diese geben eine achromatische Linse, wenn die beiden Brennweiten dasselbe Verhältniß zu einander haben, wie die zerstreuenden Kräfte. Verhält sich also das Zerstreuungsvermögen des Kronglases zu

dem des Flintglases wie 0,60 zu 1, so muß das achromatische Ocular aus einer Kronglaslinse von 6 oder 60 oder 600 Zoll und einer Flintglaslinse von 10 oder 100 oder 1000 Zoll Brennweite zusammengesetzt werden.

Obgleich indeß eine solche Verbindung ein farbloses Bild gibt, so ist sie doch nicht frei von der Aberration wegen der Kugelgestalt, die nur dadurch fortgeschafft werden kann, daß man der Vorder- und Hinterfläche, d. h. den Außenflächen der zusammengesetzten Linse die entsprechende Krümmung gibt. Herschel fand, daß ein doppeltes Ocular fast ganz frei von der Aberration ist, wenn der Halbmesser der Vorderfläche der Kronglaslinse 6,72, und der der Flintglaslinse 14,2 ist, wobei die combinirte Brennweite des Oculars 10,000 beträgt, und die innern Flächen nach der elementaren Formel der optischen Handbücher berechnet sind, so daß die beiden Brennweiten der Linse sich umgekehrt wie ihre zerstreuenden Kräfte verhalten.

Fig. 171 stellt diese Verbindung dar. **AB** ist die Converlinse aus Kronglas, die dem Object, und **CD** die Concavconverlinse aus Flintglas, die dem Auge zugekehrt ist. Die beiden innern Flächen haben eine so nahe zusammenfallende Krümmung, daß man sie aneinander kitten kann, um allen Lichtverlust zu vermeiden.

In den doppelten achromatischen Objectiven, die vor Bekanntwerdung der Herschel'schen Untersuchungen verfertigt wurden, war die dem Auge zunächst liegende Fläche der Concavlinse meines Wissens immer concav.

Die dreifachen achromatischen Objective bestehen aus drei Linsen **AB**, **CD**, **EF** (Fig. 172). **AB** und **EF** sind zwei Concavlinsen aus Kronglas und **CD** ist eine Biconcavlinse aus Flintglas.

Man bediente sich dreier Linsen, um die Abweichung wegen der Kugelgestalt mehr aufzuheben; allein die complicirtere Zusammenstellung, die größere Gefahr der Excentricität, welche die drei Mittelpunkte aus der geraden Linie bringt, und der Verlust von Licht durch sechs Flächen sind Hindernisse, die den Vortheil solcher Linsen überwiegen, weßhalb man sie auch abgeschafft hat.

Folgendes sind die Halbmesser zweier dreifachen achromatischen Linsen, die Dollond verfertigt hat.

	AB, erste Linse aus Kronglas	
	Erstes Objectiv	Zweites Objectiv
Halbmesser der Vorderfläche	28 Zoll	28 Zoll
Halbmesser der Hinterfläche	40 "	35,5
	CD, Linse aus Flintglas	
Halbmesser der Vorderfläche	20,9	21,1
Halbmesser der Hinterfläche	28	25,75
	EF, zweite Linse aus Kronglas	
Halbmesser der Vorderfläche	28,4	28
Halbmesser der Hinterfläche	28,4	28
Brennweite der zusammengesetzten Linse	46	46,3

Da es schwer hält, Flintglas zu bekommen, welches ohne Fehler und Adern ist, so überschreitet die größte in England verfertigte achromatische Linse in der Regel die Größe von 4 bis 5 Zoll Durchmesser nicht. Der üble Ruf, in welchem dieser wichtige Zweig der englischen Industrie im Auslande steht, fällt bloß der Unwissenheit und Sorglosigkeit des Gouvernements zur Last, welches Schuld daran ist, daß das Ausland gegenwärtig mit England in der Verfertigung achromatischer Fernröhre rivalisirt. *) Guinand von Brenetz in der Schweiz und Fraunhofer zu München haben große Linsen von Flintglas verfertigt, von denen mehre vollkommen geglückt sind. Fraunhofer führte zwei Teleskope mit achromatischen Objectiven von 9½ und 12 Zoll Durchmesser aus, und er schrieb mir, daß er eins von 18 Zoll zu verfertigen beabsichtige. Das erste dieser Objective befindet sich in dem prächtigen achromatischen Fernrohre, welches der Kaiser von Rußland für die Sternwarte zu Dorpat kaufte. Das Objectiv ist ein doppeltes, seine Brennweite beträgt 25 Fuß; es steht auf einem Fuße von Metall, welcher 5000 russische Pfund (4370 preuß. Pf.) schwer ist. Das Fernrohr bewegt sich nach allen Richtungen auf die leichteste Weise, indem alle beweglichen Theile ein Gegenwicht haben. Es hat vier Objective, von denen das kleinste 175 und das größte 700 Mal vergrößert. Sein Werth wurde auf 1300 Pfund Sterling festgesetzt, wurde aber von dem großmüthigen Käufer um 950 Pfund Sterling vermehrt (im Ganzen 14000 Thaler preußisch). Das Objectiv von 12 Zoll war für den König von Baiern bestimmt, zu dem Preise von

*) Und daß deutsche Künstler die englischen übertreffen. A. d. Ü.

2720 Pfund Sterling (17000 Thalern); es war aber beim Tode Fraunhofer's noch nicht vollendet, und wir wissen nicht, ob es gegenwärtig fertig ist. In den Händen des geschickten Beobachters Struve hat das Dorpat'sche Fernrohr schon zu wichtigen Entdeckungen in der Astronomie Veranlassung gegeben *). Ein französischer Künstler, wir glauben Lerebours, hat kürzlich zwei achromatische Objective von Guinand ausgeführt, von denen das eine 12 Zoll und das andere ungefähr 13 Zoll Durchmesser hat. Das erste war für ein Fernrohr auf der Pariser Sternwarte bestimmt, und das französische Gouvernement hatte ein Fußgestell für dieses Objectiv machen lassen, welches 500 Pfund Sterling (über 3000 Thlr.) kostete, kaufte aber das Objectiv selbst nicht. James South wußte den Werth beider Objective zu schätzen und kaufte sie für die Sternwarte zu Kensington.

§. 216.

Achromatische Oculare.

Die achromatischen Oculare können da, wo man nur einer einzigen Linse bedarf, ganz wie die achromatischen Objective zusammengesetzt werden. Man bedient sich jedoch solcher Oculare niemals, weil es leichter ist, die chromatische Aberration durch eine bloße Zusammenstellung von Linsen desselben Glases aufzuheben. Fig. 173 zeigt eine solche Zusammenstellung; AB und CD sind zwei Planconvexlinsen, von denen AB zunächst am Objecte, CD zunächst am Auge liegt; ein von dem achromatischen Objecte kommender weißer Lichtstrahl wird von AB in A gebrochen, so daß der rothe Strahl Ar die Axe in r, der violette Av sie in v schneidet. Da diese Strahlen aber inzwischen von der zweiten Linse in dem Punkte m und n in verschiedenen Entfernungen von der Axe aufgefangen werden, so erleiden sie auch verschiedene Grade der Brechung. Der rothe Strahl mr wird trotz seiner geringen Brechbarkeit stärker gebrochen als der violette nv, und so fahren beide Strahlen parallel, mithin farblos in mr' und nv' aus der Linse CD.

Sind beide Linsen von Kronglas, so kann man sie in einem Ab-

*) Es ist dies jetzt das größte dioptrische Fernrohr, und steht mit einem Uhrwerke in Verbindung, wodurch es in 24 Stunden einmal herumgetrieben wird, so daß ein Fixstern, den man einmal in das Gesichtsfeld gebracht hat, dasselbe nicht wieder verläßt. A. d. Ü.

stande von einander aufstellen, welcher der halben Summe ihrer Brennweite gleich ist, oder besser, dieser Abstand muß die Hälfte der Summe aus der Brennweite des Oculars CD und aus dem Abstande, in welchem das Collectivglas AB ein Bild des Objectives des Fernrohrs geben würde, betragen. Dies Ocular heißt ein negatives, die Blendung muß sich in der Mitte zwischen den beiden Linsen befinden. Die Brennweite einer dieser Zusammensetzung gleichen Linse, also einer Linse, die mit diesem Oculare ein gleiches Vergrößerungsvermögen besitzt, ist gleich dem doppelten Produkte der Brennweite beider Linsen, dividirt durch die Summe dieser Brennweiten.

Ein fast achromatisches Ocular, das sogenannte Ramsden'sche, dessen man sich zu Reisefernröhren, Teleskopen mit Mikrometern bedient, ist Fig. 174 abgebildet. AB und CD sind zwei Planconvexlinsen mit einander zugekehrten Convexitäten. Sie haben gleiche Brennweiten und ihr Abstand beträgt zwei Drittel der Brennweite einer Linse. Eine eben so stark wirkende Linse würde drei Viertel der Brennweite einer Linse zur Brennweite haben müssen. Der Zweck dieses Oculars ist ein sehr großes Gesichtsfeld oder ein deutliches Sehen eines in MN befindlichen Fadenkreuzes. Es ist nicht ganz achromatisch; man könnte es freilich mehr achromatisiren, wenn man die Linsen weiter aus einander stellte; da man dann aber die Fäden näher an AB bringen müßte, so würde jedes Staubtheilchen oder jeder Fehler der Linse AB von der Linse CD vergrößert werden.

Achromatische Oculare werden jetzt allgemein in allen achromatischen Teleskopen gebraucht, die zur Ansicht von Landschaften bestimmt sind. Diese Oculare haben die Einrichtung (Fig. 178). Sie bestehen aus vier Linsen A, C, D, B, aufgestellt wie die Figur sie darstellt. Addington zeigte, daß wenn die Brennweiten, von A angerechnet, sich wie die Zahlen 3, 4, 4, 3, und die Abstände sich wie 4, 6, 5, 2 verhalten, die Halbmesser von der Vorderfläche von A angerechnet, folgende Verhältnisse haben müssen:

A	Vorderfläche	27	beinahe planconvex
	Hinterfläche	1	
C	Vorderfläche	9	Meniskus
	Hinterfläche	4	
D	Vorderfläche	1	fast planconvex
	Hinterfläche	21	

B {Vorderfläche 1 / Hinterfläche 24} biconvex.

Die Vergrößerung dieses Oculars, wie es in der Regel gebraucht wird, ist sehr wenig von der Vergrößerung verschieden, welche die erste oder die vierte Linse für sich allein geben würde. Ich habe gezeigt, daß die Vergrößerung vermehrt oder vermindert werden kann, wenn man den Abstand zwischen C und D vermindert, die immer in den gewöhnlichen Ocularen, wo A und C sich in einer Röhre AC, und D und B in einer andern Röhre DB befinden, so eingerichtet werden kann, daß das Licht sich außerhalb des allgemeinen Tubus hält. Fig. 175 stellt ein Ocular dieser Art vor; die beiden getrennten Theile können durch eine Stellschraube E bewegt werden. Im Jahre 1805 theilte ich Carey dieses Mittel zur Erhaltung einer veränderlichen Vergrößerung und zum Aufstellen eines Systems von Messingdrähten vor dem Oculare mit, und ich besitze ein solches von Adie im Jahre 1806 verfertigtes Instrument. Ich habe dasselbe in meinen neuen physikalischen Instrumenten detaillirt beschrieben; neuerdings ist es von Kitchener als ein neues Instrument unter dem Namen der pankratischen Ocularröhre aufgestellt.

§. 217.

Fernrohr mit Prisma.

Im Jahre 1812 fand ich, daß man eine farblose Brechung mit zwei Prismen von derselben Farbe erhalten könne, und ich theilte die desfallsigen Versuche 1813 in meiner Beschreibung neuer physikalischen Instrumente mit. Dieses Princip läßt sich zur Verfertigung eines Achromaten mit Linsen von demselben Glase anwenden, so wie zu dem Tienoskop, mit welchem man die linearen Verhältnisse der Objecte vergrößern und veränderlich machen kann.

Hält man ein Prisma mit seiner brechenden Kante nach unten und horizontal gegen eine Fensterscheibe, so läßt sich leicht eine Lage finden, in welcher die Lichtstrahlen wie in Fig. 20 so in das Prisma treten, daß sie unter gleichen Winkeln ausfahren und daß man die Scheibe in ihrer natürlichen Größe erblickt. Dreht man dann die brechende Kante dem Fenster zu, so wird die Scheibe in vertikaler Richtung vergrößert, während sie dieselbe Breite behält. Hält man die brechende Kante vertikal, so kann man eben so die Breite vergrößern. Verbindet man daher beide Prismen in dieser Lage, so daß sich

zugleich die Höhe und Breite vergrößert, so erhält man ein Teleskop aus zwei Prismen, die aber unglücklicherweise die Objecte mit prismatischen Räumen umgeben darstellen.

Diese chromatische Aberration kann man durch drei Mittel aufheben: 1) man kann zu den Prismen ein Glas nehmen, welches alle Lichtstrahlen, mit Ausnahme der von einer gleichartigen Farbe, absorbirt; auch kann man zum Absorbiren ein Glasstück nehmen und die gewöhnlichen Prismen beibehalten; 2) man kann statt der gewöhnlichen achromatische Prismen wählen; 3) man kann, was für die Ausführung am bequemsten ist, zwei einander völlig ähnliche Prismen in umgekehrter Lage aufstellen, wie Fig. 176 es zeigt, wo ein Fernrohr mit Prismen abgebildet ist.

AB und **AC** sind zwei Prismen aus demselben Glase und mit denselben Brechungswinkeln; ihre Brechungsebenen liegen vertikal. **ED** und **EF** sind zwei andere ähnliche Prismen, deren Brechungsebenen horizontal sind. Ein Lichtstrahl **Ma**, welcher von dem Objecte **M** in das erste Prisma **EF** bei **a** eintritt, fährt aus dem zweiten Prisma in **b** aus, tritt in **c** in das dritte Prisma **AC** und fährt in **d** aus dem vierten Prisma **AB** aus, wo er in **O** in's Auge gelangt. Das Object **M** wird durch jedes der Prismen **EF** und **ED** horizontal, und durch jedes der beiden Prismen **AB** und **AC** vertikal vergrößert; sieht man durch diese Prismen, so werden die Objecte verkleinert.

Ich ließ dieses Instrument in England unter dem Namen von Tienoskop verfertigen. Auch hatte Blair es verfertigen lassen, ehe Amici es vorschlug. Das Modell von Blair, welches ich gegenwärtig besitze, besteht aus einem Prisma von Glasplatten mit etwa 150° Brechungswinkel. Es wurde mir vor zwei Jahren von dessen Sohne vorgelegt; da aber Blair nichts über dasselbe bekannt gemacht hat, so kann er das Datum der Verfertigung nicht bestimmen. Bei der Verfertigung dieses Instruments ist die völlige Gleichheit der vier Prismen keine nothwendige Bedingung, wenn nur **AB** und **DE**, so wie **AC** und **EF** unter sich gleich sind, denn die Farbe eines Prisma kann mit einem einzigen andern durch bloße Lagenveränderung corrigirt werden. Aus demselben Grunde brauchen auch nicht alle vier Prismen aus demselben Glase zu sein.

§. 218.

Operngucker mit einer einzigen Linse.

Schon vor langer Zeit zeigte d'Alembert, daß sich ein achromatisches Fernrohr aus einem einzigen Objective und einem einzigen Oculare, die verschiedene brechende und zerstreuende Kraft haben, zusammensetzen läßt. Das Ocular muß concav und aus einem Glase verfertigt sein, welches eine stärker zerstreuende Kraft hat, als das Glas das Objectivs; zur Zeit aber, wo dieser Vorschlag gemacht wurde, war er ganz ohne Folgen, weil man keine Substanzen von hinlänglich verschiedenem Zerstreuungsvermögen kannte. Auch jetzt noch läßt sich ein solches Fernrohr nur zu einem Operngucker benutzen.

Bedient man sich eines Objectivs von sehr geringem Zerstreuungsvermögen, so läßt sich die Brechung der violetten Strahlen durch ein Ocular von sehr starkem Zerstreuungsvermögen corrigiren, wie folgende Tabelle zeigt:

Objectiv aus	Ocular aus	Vergrößerung.
Kronglas	Flintglas	$1\frac{1}{4}$
Wasser	Cassiaöl	2
Bergkrystall	Flintglas	2
Bergkrystall	Anisöl	3
Kronglas	Cassiaöl	3
Bergkrystall	Cassiaöl	6

Obgleich in Folge dieser Verbindung alle Strahlen zerstreut werden, um parallel in's Auge zu gelangen, so ist die chromatische Aberration doch nicht vollständig aufgehoben.

§. 219.

Barlow's Achromat.

Im Jahre 1813 entdeckte ich das merkwürdige Zerstreuungsvermögen des Schwefelkohlenstoffs (Schwefelalkohols), indem ich fand, »daß sein Brechungsvermögen das aller Fluida, selbst des Flintglases, Topas und Turmalins, und daß sein Zerstreuungsvermögen das aller Fluida, mit Ausnahme des Cassiaöls übertraf und sich unmittelbar zwischen Phosphor und Tolu-Balsam stellte. Obgleich Cassiaöl eine stärkere Zerstreuung gibt, als Schwefelkohlenstoff, so steht es doch wegen seiner gelblichen Farbe in optischer Beziehung dem letzten sehr nach, man müßte denn eine sehr dünne Concavlinse benutzen. Die große Flüchtigkeit des Schwefelkohlenstoffs ist unstreitig ein großes Hinderniß; da man diese jedoch vermeiden kann, so zweifle ich nicht

daran, daß der Schwefelalkohol von äußerstem Nutzen für die Optik ist und daß man ihn mit großem Vortheile zu optischen Instrumenten verwenden kann *).« Diese Hoffnung ist von Barlow realisirt, welcher den Schwefelalkohol statt des Flintglases zur Correction der Zerstreuungen einer Convexlinse angewendet hat. Man hat den Vorschlag und Versuch gemacht, eine Concavlinse zwischen die Convexlinse und deren Brennpunkte zu stellen, um die Zerstreuung der Convexlinse aufzuheben; Barlow gebührt jedoch das Verdienst der ersten Ausführung. Das nach diesem Principe verfertigte Teleskop besteht aus einem einzigen Objecte aus Spiegelglas von 7 Zoll reiner Oeffnung und von 78 Zoll Brennweite; 40 Zoll von dieser Linse steht eine Concavlinse aus Schwefelalkohol, welche 59 Zoll Brennweite hat, so daß die parallel auf die Convexlinse fallenden und in ihrem Brennpunkte convergirenden Lichtstrahlen von der flüssigen Concavlinse gebrochen werden in einen Brennpunkt 104 Zoll von der Concavlinse und 144 Zoll oder 12 Fuß von der Convexlinse. Die Flüssigkeit befindet sich zwischen zwei Meniskusbacken und einem Glasringe; der Halbmesser gegen das Auge zu beträgt 144 Zoll, der gegen das Objectiv zu 56,4 Zoll. Das Fluidum wurde auf eine hohe Temperatur gebracht, und hielt die Zusammenziehung, die jeder Körper durch Kälte erleidet, vollkommen aus. Man hat bis dahin noch nicht die mindeste Zersetzung derselben wahrgenommen. Das große secundäre Spectrum, welches ich im Schwefelalkohol fand, wird annähernd durch die Entfernung der flüssigen Linse und das Objectiv verbessert; ich bin jedoch überzeugt, daß nicht alle secundäre Farbe fehlt. Coddington bemerkt, daß der allgemeine Gang eines schrägen Lichtbüschels von der flüssigen Linse auswärts gebogen wird, und daß dieses bei den violetten Lichtstrahlen mehr als bei den rothen geschieht; wir glauben jedoch, daß dieser Fehler an den Instrumenten nicht wahrgenommen ist. Der Tubus des Fernrohrs ist 11 Fuß und die Ocularröhren 1 Fuß lang. Dieses Fernrohr gibt, wie Barlow sagt, eine 700malige Vergrößerung der dunkelsten Doppelsterne aus dem Kataloge von South und Herschel, obgleich das Gesichtsfeld nicht so hell ist, als man wünschen möchte. Venus ist sehr schön weiß und gut zu

---

*) Optische Eigenschaften des Schwefelalkohols. **Edinb. Transact. vol. VIII.** Februarheft 1814, S. 285.

sehen bei einer 120maligen Vergrößerung, zeigt aber bei einer 360maligen Vergrößerung einige Farbe. Saturn ist bei 120maliger Vergrößerung sehr hell, der doppelte Ring und der Gürtel deutlich zu sehen, bei einer 360maligen Vergrößerung noch mehr. Barlow bemerkt auch, daß das Fernrohr nicht so gut zum Erleuchten kleiner Sterne ist, als es kräftig auf den Glanz der kleinsten leuchtenden Punkte wirkt.

§. 220.

Achromatische Sonnenteleskope mit einfachen Linsen.

Zur Beobachtung der Sonne oder jedes andern stark leuchtenden Objectes kann man ein Fernrohr mit einem einzigen Objective aus Spiegelglas verfertigen, indem man eins der Oculare aus einem Glase macht, welches nur das gleichartige Licht durchläßt; denselben Effekt erhält man mit einer Glasscheibe von derselben Farbe, indeß entsteht aus den beiden Flächen des Glases eine neue Quelle zum Irrthume. Für eine derartige Construction wäre es am besten, alle Strahlen außer den rothen zu absorbiren, und es gibt manche Substanzen, mit welchen sich dies ausführen läßt. Das Objectiv dieses Fernrohrs würde dann freilich achromatisch, hätte aber doch noch den Fehler der Abweichung wegen der Kugelgestalt. Sind aber die Halbmesser der Linsen gut gewählt, so gestattet die Masse des Sonnenlichtes die Oeffnung so klein zu machen, daß man den Fehler der sphärischen Aberration kaum wahrnimmt. Dies Fernrohr würde, wenn es eine bedeutende Länge hätte, meiner Ueberzeugung nach jedem nach der Sonne gerichteten Fernrohr gleich stehen.

Nimmt man einen festen oder flüssigen Körper, welcher alle Strahlen, außer den gelben, absorbirt, so paßt dieses Fernrohr mit dem wenigen Lichtverluste der rothen Gläser für alle Objecte im Tageslichte- und für alle astronomischen Objecte. Wird die Kunst, dem Glase eine hyperbolische Gestalt zu geben, zu ihrer Vollendung gebracht, woran wir nicht zweifeln, so wird die sphärische Aberration verschwinden, und dann wird das nach der vorstehenden Angabe construirte Instrument das vollkommenste von allen sein.

Bedient man sich auch nur des rothen Lichtes, so kann man den Fernröhren, die zu Beobachtungen am Tage und zu astronomischen Zwecken dienen, eine große Verbesserung geben. Nimmt man z. B. das rothe Licht, welches $\frac{1}{10}$ des weißen Lichtes ist, so darf man nur

die Fläche der Oeffnung verzehnfachen, um den Mangel des Lichtes vollständig zu ersetzen. Die sphärische Aberration wird sich dadurch unstreitig bedeutend vergrößern; bedenkt man aber, daß sie im Vergleich mit der achromatischen Aberration sich wie 1 zu 1200 verhält, so wird er sie wohl nicht fürchten, wenn man sich einen so großen Vortheil verschaffen kann. Die gewöhnlichen Fernröhre können durch farbige Gläser verbessert werden, welche nur die äußersten Strahlen des Spectrums absorbiren, obgleich man dadurch noch kein gleichartiges oder achromatisches Bild erhält.

Diese Bemerkungen stellen wir vorzüglich zum Besten Derjenigen hin, die keine kostbaren Instrumente kaufen können und astronomische Beobachtungen mit gewöhnlichen Instrumenten machen wollen.

§. 221.

Verbesserung der Fernröhre, die nicht völlig achromatisch sind.

Man hat mehre Achromaten von bedeutender Größe, in welchen das Flintglas der Linse die Farben des Kronglases entweder zu viel oder zu wenig corrigirt.

Diesem Fehler kann man dadurch abhelfen, daß man die Krümmung der einen oder andern Linse ein wenig verändert. Indeß entwickeln alle Achromaten, deren Linsen aus Kron- und Flintglase verfertigt sind, secundäre Farben, die sogenannte Weinfarbe und die grünlichen Säume. Diese Farben sind in der Wirklichkeit sehr unbedeutend, und in den meisten, wo nicht in allen Fällen kann man sie durch absorbirende Gläser fortschaffen, welche die Intensität des Lichtes nur sehr wenig schwächen. Die zu diesem Zwecke passenden Gläser können nur durch Versuche bestimmt werden, denn die secundäre Farbe, obgleich sie im Allgemeinen die vorhin genannte Weinfarbe haben, variiren nach der Beschaffenheit des Flint- und Kronglases, woraus man die Linsen verfertigt.

Erster Anhang.

Tafel I.

(Zu Seite 22. Band I.)

Tabelle der Brechungsexponenten fester und flüssiger Körper.

Körper	Brechungsexponent.
Realgar, künstlicher	2,549
Octaedrit (pyram. Titanerz)	2,500
Diamant	2,439
Bleisalpeter	2,322
Zinkblende	2,260
Phosphor	2,224
Schwefel, gegossen	2,148
Zirkon	1,961
Glas (Flint-), 2 Theile Blei, 1 Theil Kiesel	1,830
Granat	1,315
Rubin	1,779
Glas (Flint-), 3 Theile Blei, 1 Theil Kiesel	2,028
Sapphir	1,794
Spinell	1,764
Kaneelstein (prismat. Granat)	1,759
Schwefelsaurer Kohlenstoff	1,768
Cassiaöl	1,641
Balsam von Tolu	1,628
Guajac	1,619
Anisöl	1,601
Quarz	1,548
Steinsalz	1,557
Zucker, geschmolzen	1,554
Balsam von Canada	1,549
Ambra	1,547
Glas, gemeines	von 1,514 bis 1,542
Kronglas	von 1,525 bis 1,534
Nelkenöl	1,535
Kopaivabalsam	1,528
Gummi, arabischer	1,502
Buchelöl	1,500
Ricinusöl	1,490
Cajeputöl	1,483
Terpentinöl	1,475
Baumöl	1,470
Alaun	1,457
Flußspath	1,434
Schwefelsäure	1,434
Salpetersäure	1,410
Chlorwasserstoffsäure	1,410
Alkohol	1,372
Kryolith	1,349
Wasser	1,336
Eis	1,309
Flüssige Mineralien	1,131
Tabir	1,111
Äther, zum dreifachen Volumen ausgedehnt	1,057
Luft	1,000294
Schwefelkohlenstoffdampf	1,001530
Phosgengas	1,000159
Cyangas	1,000834
Chlorgas	1,000772
Ölbildendes Gas	1,000678
Schwefeligsaures Gas	1,000665
Schwefelwasserstoffgas	1,000644
Stickstoffoxydulgas	1,000503
Cyanwasserstoffgas	1,000453
Salzsäuregas	1,000449
Kohlensäuregas	1,000449
Kohlenwasserstoffgas im Minimum	1,000443

	Brechungsexponent.		Brechungsexponent.
Ammoniakgas	1,000385	Atmosphärische Luft	1,000294
Kohlenoxydgas	1,000340	Sauerstoffgas	1,000272
Stickstoffoxydgas	1,000303	Wasserstoffgas	1,000138
Stickgas	1,000300	Der leere Raum	1,000000

Tafel II.

(Zu S. 22. Band I.)

Tabelle der absoluten brechenden Kräfte der Körper.

	Brechungsexponent.		Brechungsexponent.
Tabir	0,0976	Borax	0,6716
Kryolith	0,2742	Salpeter	0,7095
Flußspath	0,3426	Regenwasser	0,7847
Sauerstoff	0,3799	Flintglas	0,7986
Schwefelsaurer Baryt	0,3829	Cyangas	0,8021
Schwefeligsaures Gas	0,4455	Schwefelwasserstoffgas	0,8419
Stickstoffoxydgas	0,4491	Schwefelkohlenstoffdampf	0,8743
Luft	0,4528	Ammoniakgas	1,0032
Kohlensaures Gas	0,4537	Rectificirter Alkohol	1,0121
Stickstoffgas	0,4734	Kampfer	1,2551
Chlorgas	0,4813	Baumöl	1,2607
Stickstoffoxyd	0,5078	Ambra	1,3654
Phosgengas	0,5188	Octaedrit	1,3816
Selenit (Gypsspath)	0,5386	Schwefelkohlenstoff	1,4200
Kohlenoxyd	0,5387	Diamant	1,4566
Quarz	0,5415	Realgar	1,6666
Glas	0,5436	Ambra, grau	1,7000
Salzsäuregas	0,5514	Cassiaöl	1,7634
Schwefelsäuregas	0,6124	Schwefel	2,2000
Kalkspath	0,6424	Phosphor	2,8857
Alaun	0,6570	Wasserstoff	3,0953

Nro. I.

(Zu S. 65. Band I.)

Um dem Leser eine Idee von dem verschiedenen Zerstreuungsvermögen der festen und flüssigen Körper zu geben, theilen wir hier folgende Tabelle mit, die der Auszug einer in den Jahren 1811 und 1812 vorgenommenen größern Arbeit ist. *)

Die zweite Colonne enthält die Differenz der Brechungsexponenten der äußersten rothen und violetten Strahlen in dem Theile der totalen Reflexion, für welche die Zerstreuung gleich ist. Die erste Colonne gibt die zerstreuenden Kräfte.

*) Brewster's Beschreibung neuer phys. Instrumente. S. 315.

Tabelle der zerstreuenden Kräfte der Körper.

	Zerstreuende Kraft.	Differenz der Brechungsexponenten der äußersten Strahlen.
Cassiaöl	0,139	0,889
Schwefel, geschmolzen	0,130	0,149
Phosphor	0,128	0,156
Balsam von Tolu	0,115	0,077
Balsam von Peru	0,103	0,065
Balsam von Peru	0,093	0,058
Aloe von Barbados	0,085	0,058
Mandelöl (bitter)	0,079	0,048
Anisöl	0,077	0,044
Essigsaures Blei	0,069	0,040
Styraxbalsam	0,067	0,039
Guajac	0,066	0,041
Kümmelöl	0,065	0,033
Tabacköl	0,064	0,035
Gummi-Ammoniak	0,063	0,037
Theeröl	0,062	0,032
Nelkenöl	0,062	0,033
Sassafrasöl	0,060	0,032
Harz	0,057	0,032
Süßes Fenchelöl	0,055	0,028
Frauenmünzöl	0,054	0,026
Steinsalz	0,053	0,029
Kautchuk	0,052	0,028
Pimentöl	0,052	0,020
Flintglas	0,052	0,026
Angelicaöl	0,051	0,025
Thimianöl	0,050	0,024
Feldkümmelöl	0,049	0,024
Flintglas	0,048	0,029
Storax	0,048	0,028
Wachholderöl	0,047	0,022
Salpetersäure	0,045	0,019
Balsam von Canada	0,045	0,021
Cajeputöl	0,044	0,022
Rodiumholzöl	0,044	0,022
Mohnöl	0,044	0,020
Zirkon, der brechbarste	0,044	0,045
Salzsäuregas	0,043	0,016
Copal	0,043	0,024
Nußöl	0,043	0,022
Terpentinöl	0,042	0,020
Feldspath	0,042	0,022
Kopaivabalsam	0,041	0,021
Ambra	0,041	0,023
Kalkspath, der brechbarste	0,040	0,027
Rüböl	0,040	0,019

	Zerstreuende Kraft.	Differenz der Brechungsexponenten der äußersten Strahlen.
Diamant	0,038	0,056
Baumöl	0,038	0,018
Mastix	0,038	0,022
Rosenöl	0,037	0,016
Beryll	0,037	0,022
Äther	0,037	0,022
Selenit	0,037	0,020
Alaun	0,036	0,017
Ricinusöl	0,036	0,018
Kronglas, grünes	0,036	0,020
Gummi, arabischer	0,036	0,018
Wasser	0,035	0,012
Citronsäure	0,035	0,019
Boraxglas	0,034	0,018
Granat	0,034	0,018
Chrysolith	0,033	0,022
Kronglas	0,033	0,018
Weinöl	0,032	0,012
Phosphorglas	0,031	0,017
Glas in Platten	0,032	0,017
Schwefelsäure	0,031	0,014
Weinsteinsäure	0,030	0,016
Salpeter, der mindest brechbare	0,030	0,019
Borax	0,030	0,014
Alkohol	0,029	0,011
Schwefelsaurer Baryt	0,029	0,011
Bergkrystall	0,026	0,014
Boraxglas, 1 Theil Borax, 2 Theile Kiesel	0,026	0,014
Sapphir, blauer	0,026	0,021
Topas, bläulicher	0,025	0,016
Chrysoberyll	0,025	0,019
Topas, blauer	0,024	0,016
Schwefelsaurer Strontian	0,024	0,015
Blausäure	0,027	0,008
Flußspath	0,022	0,010
Kryolith	0,022	0,007

Nro. II.

(Zu S. 67. Band I.)

Nachstehende Tabelle enthält die Resultate mehrer der S. 67 beschriebenen Versuche. Die zuerst angeführten Körper zeigen die mindeste, und die zuletzt angeführten die stärkste Wirkung auf das grüne Licht. Die gegenseitige Stellung einiger Substanzen ist rein empirisch; vergleicht man indeß die Versuche S. 354 meiner »Beschreibung neuer physikalischer Instrumente«, so sieht man, wie die Wirkung auf das grüne Licht bestimmt ist, oder nicht.

Tabelle der transparenten Körper,

nach ihrer schwächern Wirkung auf das grüne Licht geordnet.

Cassiaöl
Schwefel
Schwefelsaurer Kohlenstoff
Balsam von Tolu
Bittermandelöl
Anisöl
Kümmelöl
Sassafrasöl
Süßes Fenchelöl
Nelkenöl
Balsam von Canada
Terpentinöl
Mohnöl
Frauenmünzöl
Feldkümmelöl
Muskatöl
Münzöl
Ricinusöl
Copal
Diamant
Salpetersaure Pottasche
Nußöl
Kopaivabalsam
Rodiumholzöl
Flintglas
Zirkon
Baumöl
Kalkspath
Steinsalz
Sandarak
Mandelöl
Kronglas
Gummi, arabischer
Alkohol
Äther
Boraxglas
Selenit
Beryll
Topas
Flußspath
Citronsäure
Essigsäure
Salzsäure
Salpetersäure
Bergkrystall
Eis
Wasser
Phosphorichte Säure
Schwefelsäure.

Nro. III.

(Zu S. 74. Band I.)

Brechende Mittel.	Specifisches Gewicht.	Brechungsexponenten für die sieben Strahlen des Spectrums, die in Fig. 55. mit folgenden Buchstaben bezeichnet sind.						
		B Roth	C Roth	D Orange	E Grün	F Blau	G Indigo	H Violett
Wasser	1,000	1,330935	1,331712	1,333577	1,335851	1,337818	1,341293	1,344177
Potaschenauflösung	1,416	1,339629	1,400515	1,402805	1,405632	1,408082	1,412579	1,416368
Terpentinöl	0,885	1,470496	1,471530	1,474434	1,478353	1,481736	1,488198	1,493874
Kronglas	2,235	1,525832	1,526849	1,529587	1,533055	1,536052	1,541657	1,546566
Kronglas	2,756	1,554774	1,555933	1,559075	1,563150	1,566741	1,573535	1,579470
Flintglas	3,723	1,627749	1,629681	1,635036	1,642024	1,648266	1,660285	1,671062
Flintglas	3,512	1,602042	1,603800	1,608494	1,614532	1,620042	1,630772	1,640373

Zweiter Anhang.

Es wird unsern Lesern nicht unangenehm sein, wenn wir hier die Beschreibung zweier in Frankreich erfundenen Maschinen zum Schleifen und Poliren der optischen Gläser beifügen; die eine ist von Tournant, die andere von Legey erfunden. Wir nehmen die Beschreibung und Zeichnung beider aus dem **Bulletin de la société d'encouragement.**

Beschreibung der Tournant'schen Maschine zum Poliren der optischen Gläser.

Jeder in der Glasschleifkunst nur etwas Erfahrne weiß, daß die auf einer Maschine geschliffenen Gläser eine regelmäßigere Gestalt annehmen, als die aus freier Hand gearbeiteten, daß aber beim Poliren die Arbeit aus freier Hand der mit Maschinen vorzuziehen ist. Deßhalb steht denn unter den Praktikern einmal der Glaube fest, eine Maschine könne die optischen Gläser nicht gut poliren.

Dieses ist indeß nicht unmöglich, denn der berühmte Campani verfertigte alle die großen Objective, die früher und jetzt noch so bekannt in Europa sind, mit einer Maschine. Unglücklicherweise ist sein so nützlicher Mechanismus verloren gegangen, und alle Bemühungen, einen ähnlichen neuen herzustellen, waren bisher vergeblich. Tournant, welcher mit mehr Ausdauer und Glück arbeitete, hat den folgenden Mechanismus zu diesem Zwecke ersonnen, mit welchem er schon mehr optische Gläser und Spiegel in ihrer höchsten Vollkommenheit hergestellt hat. Ehe wir jedoch diesen Mechanismus beschreiben, wollen wir zuerst die sich entgegenstellenden Schwierigkeiten und die Bedingungen anführen, denen er Genüge leisten mußte.

Man bedient sich zum Schleifen der Gläser des Schmergels, und zum Poliren entweder sehr feinen Schmergels oder auch eines Metalloxyds und vorzugsweise der Zinnasche. Obgleich diese Substanzen das Glas poliren, so greifen sie doch dasselbe an und ritzen es nothwendig; und die Kunst des Arbeiters besteht darin, diese Risse in allen möglichen Richtungen durch einander zu führen, so daß sie sich gleichsam gegenseitig vernichten. Auch muß der Arbeiter dahin seine Sorgfalt richten, daß er auf jede Stelle des Glases gleichmäßig drückt, damit die Form desselben sich nicht ändert. Eine Polirmaschine muß also entweder dem Glase oder der Schleif- oder Polirschale *) sehr verschiedene Bewegungen mittheilen können, um die Arbeit mit der Hand nachzumachen, und alle diese Bewegungen dürfen die Form des Glases nicht im Mindesten verändern.

Die Polirmaschine gleicht in ihren Haupttheilen einer Drehbank, und wird wie diese mittelst eines Trittes **A** (Fig. 177) in Bewegung gesetzt. Das Rad der Drehbank **a** steht vertikal und die Verlängerung **bc** seiner Axe ist vierkantig, um eine Rolle **d** darauf stecken zu können, die man mit Hilfe einer Schraube **e** in einer passenden Entfernung befestigt.

Die Spindel, welche von den Docken **BB** getragen wird, ist gleichfalls an ihrem vierkantigen Ende mit einer Rolle **f** versehen. Das Ende der Spindel ist in der Mitte durchbohrt und trägt eine Kopfschraube **g**, welche die Rolle gegen einen Vorsprung **h** festhält, der einen Theil der Spindel ausmacht. Ueber die beiden Rollen **f** und **d** geht eine Schnur ohne Ende.

Steht nun der Tritt durch eine Schnur mit dem vertikalen Rade in Verbindung, so theilt er seine Bewegung der ersten Rolle mit und von dieser geht die Bewegung an die Rolle über, welche auf der Spindel sitzt. An dem andern Ende der Spindel ist das Glas oder die Schüssel in der kupfernen Fassung **k** befestigt. Das Glas oder die Schüssel erhalten dann durch diese Vorrichtung eine kreisförmige

---

*) Die Schleifschale ist die Schüssel, welcher man die Form gibt, die das Glas annehmen soll; gewöhnlich verfertigt man sie aus Kupfer oder aus Messing. Dann bringt man zwischen sie und das Glas Schmergel, dreht dies nach allen Richtungen so lange um, bis es in die Schüssel eingeschliffen ist und dessen Form angenommen hat. Hat das Glas die gewünschte Form, so bringt man zwischen die Form und das Glas sehr feine Substanzen, und nennt dann die Schleifschale gewöhnlich Polirschale.

Bewegung. Wir wollen für die folgende Beschreibung annehmen, das Glas sei an der Spindel befestigt.

Das vertikale Rad hat vier Speichen, wie man (Fig. 178) sieht. Auf einer derselben ist eine doppelt gekrümmte Kurbel l befestigt, welche die Form eines Z hat. Sie ist von Eisen und auf einem viereckigen eisernen Stücke m befestigt, welches mit Hilfe einer Stellschraube n längs der Speiche fortgeschoben werden kann, die in einer passenden Entfernung vom Mittelpunkte des Rades durch eine verlorne Kopfschraube befestigt wird.

Die Schnur des Trittes ist an dem Vorderarme der Kurbel (Fig. 177 und 178) in einer Art von Ring befestigt, den eine umgebogene Kupferplatte bildet. An dem hintern Arme q der Kurbel hängt in einem ähnlichen Ringe eine biegsame Kette rs, die in ihrer Mitte die Fassung k der Schüssel oder Polirschale trägt. Auf diese Weise wird die Schüssel durch die Radspeiche, welche die Kurbel trägt, auf- und niederbewegt. In der horizontalen Lage dieser Radspeiche muß der Mittelpunkt der Schüssel auf den Mittelpunkt des Glases oder der Spindel treffen. Dadurch rückt die Schüssel sowohl beim Auf- als Niedersteigen über das Glas um die Entfernung qv zwischen dem hintern Arme der Kurbel und dem Radmittelpunkte vor, und diese Größe läßt sich, wie schon vorhin erwähnt ist, mit Hilfe der Stellschraube n vergrößern und verkleinern.

Nach dieser allgemeinen Einrichtung der Maschine hebt und senkt sich die Schüssel durch dieselbe Bewegung, wodurch das Glas umgedreht wird, so daß die feinen Theile des Schmergels oder der Zinnasche eine Menge krummer Linien auf das Glas ritzen, und sich nach allen Richtungen durchschneiden; man erreicht also dieselbe Wirkung wie bei der Bearbeitung aus freier Hand.

Nachdem wir so die Glasscheifmaschine im Allgemeinen beschrieben haben, wollen wir einige ihrer Theile genauer detailliren.

Der Arm q der Kurbel beschreibt um das Centrum v des vertikalen Rades einen Kreis, dessen Radius die Entfernung qv ist; mithin bewegt er sich eben so weit nach rechts und links, als nach oben und unten. Die an der Kette befestigte Schüssel würde also nicht bloß eine Bewegung auf- und niederwärts haben, sondern sich auch seitwärts bewegen; zur Vermeidung dieser unnützen Bewegung gleitet jedoch die Fassung, welche die Schüssel trägt, zwischen zwei hölzernen

Wangen **FF**, wie man Fig. 179 sieht. Da man Schüsseln von verschiedener Größe hat, so können diese Wangen mit Hilfe einer Schraube **C** in verschiedenen Entfernungen von einander gebracht werden.

Die solchergestalt vor dem Glase aufgehängte Polirschale muß nun gegen das Glas gedrückt werden, damit die zum Poliren bestimmten Substanzen das Glas gehörig angreifen können. Zu diesem Zwekke befestigt man zuerst an das untere Ende der biegsamen Kette ein Gewicht **D**, welches in einem an dem Ende des Trittes angebrachten Falze **E** gleitet, und schon durch die Lage, die es in der Figur 177 einnimmt, die Polirschale gegen das Glas drückt. Da dies Mittel jedoch nicht ausreichen würde, so drückt man die Polirschale geradezu gegen das Glas durch folgendes Mittel.

In dem Holzstücke **G**, welches am Gestelle festsitzt, befindet sich ein hölzernes Kreuz, welches um einen Zapfen **I** beweglich ist. Das Ende des vertikalen Armes dieses Kreuzes trägt eine lange hölzerne Stange **Hk** vorn mit einer eisernen Spitze, die in ein kleines Loch in der Mitte der Fassung reicht. Diese Stange ist um den Punkt **H** beweglich. An dem andern Arme des Kreuzes hängt ein Gewicht **L**, dessen Wirkung man vermehren oder vermindern kann, so wie man es vom Mittelpunkte des Kreuzes entfernt oder ihm nähert. Dies Gewicht drückt die Stange gegen die Polirschale und folglich diese gegen das Glas.

Die biegsame Kette ist aus einer Uhrfeder oder auch aus Eisendraht verfertigt. An ihrem obern Theile befindet sich eine Stellschraube **i** (Fig. 177 und 179), mit welcher man das Centrum des die Polirschale tragenden Ringes genau gegen das Centrum des Glases bringen kann. Am untern Theile der Kette befindet sich eine zweite Stellschraube **t**, mit welcher man das unten an der Kette befestigte Gewicht in die Lage bringen kann, daß es immer in dem Falze des Trittes bleibt.

Die kupferne Fassung endlich, die in der Mitte der biegsamen Kette aufgehängt ist, besteht, wie Fig. 179 zeigt, aus einem kupfernen geöhrten Ringe, in welchen die Schüssel oder die Polirschale hineingebracht wird, je nachdem das Glas geglättet oder polirt werden soll.

Bei der Politur des Glases muß die Spindel nothwendig sehr langsam umlaufen; zu dem Zwecke muß die auf der Axe des vertikalen Rades befindliche Rolle einen kleinen Durchmesser, und die auf

der Spindel befindliche einen großen haben; dann kann es geschehen, daß während einer Umdrehung des Glases die Polirschale 7 bis 8 Mal auf- und abgeht.

Soll ein Glas geschliffen werden oder will man sonst zu irgend einem Zwecke eine schnelle Bewegung haben, so nimmt man die Rollen u und x mit der Rolle y oder mit Rollen von irgend einem andern Durchmesser, so wie man sie gerade braucht.

Um Polirschalen von vollkommener Gestalt zu erhalten, wendete Tournant die beiden folgenden Methoden an.

Bei der ersten Methode leimt er auf das zu polirende Glas ein sehr feines Papier; ein desgleichen leimt er in die Schüssel, in welcher das Glas seine Form erhalten hat. (Es mag hier angenommen werden, daß das Glas convex und die Form concav ist; es wäre übrigens einerlei auch im entgegengesetzten Falle.) Dadurch ist die convexe Fläche etwas stärker und die concave etwas kleiner geworden. Dann reibt man die beiden Flächen gegen einander, bis das Korn des Papiers von dem in geringer Masse zwischen die Flächen gebrachten halbfeinen Schmergel abgeschliffen ist, nimmt das Papier von dem Glase ab, bläst, bürstet und wischt das Papier aus der Schüssel weg, und thut in diese etwas sehr feinen Schmergel, der sich zum Poliren eignet. Diesen sehr feinen Schmergel erhält man, wenn man eine gewisse Menge Schmergel tüchtig in Wasser umrührt, und dann nur den behält, der noch im Wasser schweben bleibt, nachdem dies lange ruhig gestanden hat.

Die zweite Methode, die Tournant der ersten vorzieht, besteht in Folgendem. Man hat eine Schüssel aus Eisen oder aus dickem Eisenbleche, die nach der Jahreszeit mit einem weichen Cemente umgeben ist. (Im Winter ist bloßes Pech ohne Zusatz hinreichend.) Man erwärmt die Schüssel und bringt dann ein Blatt Papier darauf, dem man vorher mit einem Bimssteine die Narbe genommen hat. Das Papier, welches etwas über die Schüssel vorragen muß, beleimt sich auf derselben fest; man biegt dann den Rand um, und befestigt diesen mit einer Uhrfeder, die man mit einer Schraube schließt. Nachdem man hierauf das Glas ganz schwach erwärmt hat, bringt man es in die Schüssel, und gibt nun dem Cemente die Form des Glases, indem man dieses mittelst einer kleinen Presse auf die Schüssel drückt, und die Schraube der Presse von Zeit zu Zeit anzieht.

Die Maschine und die beschriebenen Methoden eignen sich sehr, dem Geschäfte des Polirens einen hohen Grade von Vollkommenheit zu geben; außerdem hat die Maschine den Vorzug, daß sie rasch arbeitet und mehre Gläser auf einmal poliren kann. Zu dem Zwecke befestigt man in einem Kitte, welcher sehr hart wird, mehre Gläser von gleicher Krümmung (z. B. fünf bis sechs) dergestalt, daß ihre Flächen die Fläche einer einzigen Kugel bilden. Diese Verbindung von Gläsern bringt man auf die Spindel, als wären sie ein einziges großes Glas, hängt an der Kette eine Schüssel von gleicher Größe und passender Krümmung auf, und die Maschine polirt dann sämmtliche Gläser auf einmal.

Mittelst dieser Maschine kann man leicht optische Gläser und Spiegel von allen Größen schleifen und poliren.

Beschreibung einer Maschine zum Schleifen und Poliren der optischen Gläser, erfunden von Legey, Mechanikus zu Paris.

Man schleift gewöhnlich die optischen Gläser in kupfernen Schüsseln, die convex oder concav sind, je nachdem die Gläser concav oder convex werden sollen. Die Schüsseln werden auf der Drehbank verfertigt und bekommen den Grad von Krümmung, den die Gläser erhalten sollen. Auf der einen Seite aber ist das Ausdrehen eine mißliche Operation; auf der andern Seite ändert sich die Krümmung der Schüssel durch die Reibung des Glases und Schmergels bald; es kann sogar der Fall eintreten, daß nachdem man den ersten Theil der Arbeit, das sogenannte Glätten, glücklich vollbracht hat, die Krümmung des Glases noch durch das Poliren verdorben wird, weil man beim Poliren genöthigt ist, auf die Fläche der Schüssel einen weichen Körper, etwa Papier, zu legen.

Vorzüglich schädlich kann die Ungenauigkeit dieses Verfahrens bei achromatischen Objectiven werden, die eine außerordentliche Genauigkeit verlangen. Deshalb setzte die **Société d'encouragement** im Jahre 1820 einen Preis von 2500 Franken aus für die Verfertigung einer Maschine, mit welcher man den Linsen eine beliebige Krümmung geben, und sie vollkommen ohne Störung dieser Krümmung poliren könne. Die Aufgabe schien um so weniger Schwierigkeiten unterworfen, als bereits der berühmte Optikus Reichenbach zu München zur Verfertigung seiner

Gläser mit großem Glücke mechanische Vorrichtungen anwendet, und es sich nur darum handelte, eine Maschine zu bauen, die denselben Effekt hervorzubringen im Stande war.

In den ersten Jahren erhielt man wenig genügende Resultate, indem einige der Concurrenten nur Modelle von sehr geringen Dimensionen, andere Versuche vorlegten, die durchaus kein bestimmtes Resultat gaben, bis man endlich im Jahre 1825 sehr nahe daran war, den Preis dem Mechanikus Stewart aus Bordeaux zuzuerkennen. Er hatte eine sehr einfache Maschine vorgezeigt, die in Gegenwart der Commissarien geprüft und für sehr gut befunden wurde; sie würde unstreitig den Preis erhalten haben, wenn sie nicht noch Einiges in Rücksicht des Polirens der Gläser zu wünschen übrig gelassen hätte. Diese Maschine befindet sich gegenwärtig im Conservatoire des arts et métiers, und besteht aus einer Art von vertikaler Drehbank, welche die Schüssel umlaufen macht; über der Schüssel hängt das zu bearbeitende Glas an einer Metallstange von beliebig veränderlicher Länge, und bewegt sich in einem Doppelringe *), dessen Centrum genau das Centrum des Theils der Kugelfläche ist, der bearbeitet werden soll. Die Maschine selbst bewegt das Glas durchaus nicht, sondern dies geschieht, wie bei der gewöhnlichen Methode, von dem Arbeiter mit der Hand, nur mit viel mehr Bequemlichkeit.

In der Hoffnung, Stewart werde seine Maschine vervollkommnen, setzte die Societät die Vertheilung des Preises auf das Jahr 1826 aus, nachdem sie dem Künstler eine goldene Medaille zuerkannt und ihm ihre Zufriedenheit bezeugt hatte. Diese Hoffnung ging jedoch nicht in Erfüllung, denn des Jahr 1826 gab kein Resultat. Unter solchen Umständen nahm man den Preis zurück, und beschloß, die Zeichnung und Beschreibung der von Fraunhofer erfundenen Maschine in der Reichenbach'schen Offizin zu München mitzutheilen. Die deshalb zu München eingeleiteten Schritte blieben jedoch ohne Erfolg.

Indessen verdienen doch die Bestrebungen mehrer Künstler, den Forderungen der obigen Aufgabe zu genügen, bekannt gemacht zu werden. Aus diesem Gesichtspunkte theilen wir hier eine Beschreibung der zu jener Zeit von Legey vorgezeigten Maschine mit. Obgleich

---

*) Wie ein Schiffscompaß. A. d. Ü.

sie bloß im Modelle ausgeführt ist, so vollzieht sie doch alle Verrichtungen mit solcher Genauigkeit, daß sich die glücklichsten Resultate von ihr erwarten lassen.

Diese Maschine, deren Grund- und Standriß die Fig. 180, 181 und 182 darstellen, ist so eingerichtet, daß eine einfache bewegende Kraft an einer Kurbel hinreicht, das Glas zu drehen, wobei es auf einer ebenen Schleifschale, die gleichfalls eine rotirende und eine senkrechte zu seiner Axe hin- und hergehende Bewegung hat, fortgeschoben wird. Durch diese vier Bewegungen, die eben so leicht als sicher ausgeführt werden, kommt allmählich jeder Theil des Glases mit jedem Theile der Schleifschale in Berührung, und das Glas muß unfehlbar die Form eines Kugelausschnitts bekommen, die sich beim Poliren nicht ändern kann, weil dies auf dieselbe Weise vorgenommen wird. Was den Halbmesser anlangt, so bestimmt und fixirt man ihn ganz nach Belieben auf die genaueste und leichteste Weise.

Concavgläser erhält man, indem man das Glas an die Stelle der ebenen Schleifschale und eine gewölbte Schleifschale an die Stelle des Glases bringt, und die hin- und hergehende Bewegung der Schleifschale sperrt.

Plangläser bekommt man, wenn man die Gläser an das Ende der Axe bringt, dieser aber nur die rotirende Bewegung läßt, und die ebene Schleifschale an ihre Stelle zurückbringt und ihr beide Bewegungen wiedergibt.

Die Commissarien waren der Meinung, daß die beiden letzten Arten von Gläsern nicht so vollkommen bearbeitet werden könnten, als die Convexgläser, wegen der Mittelpunkte der drehenden Stücke, die ihrer Bewegung beraubt sich nicht durch den bloßen Effekt der Rotation, sondern bloß durch die hin- und hergehende Bewegung des einen der wirkenden Theile abschleifen.

Diesem Uebelstande hat der Erfinder dadurch abgeholfen, daß er die untere Axe, welche das Glas trägt, excentrisch laufen läßt und das Glas am obern Ende dieser Axe in einem Doppelringe aufhängt. Dadurch ist die Maschine in den Stand gesetzt, Concavgläser eben so vollkommen zu schleifen als Convexgläser.

Die Maschine steht in einem Gestelle A (Fig. 180, 181 und 182). Auf dem Träger A' bewegt sich in den Falzen PP ein Schlitten O, welcher einen Rotationsmittelpunkt Y trägt, auf dem sich eine

platte Reibschale Z befindet, die mit vieler Sorgfalt verfertigt sein muß und sich überall gleich stark abschleift. Diese Reibschale hat eine eigene Rotationsbewegung durch die Rolle Q, um welche eine Schnur R geht, und eine Seitenbewegung in gerader Linie mit Hilfe der Stange d. Ueber der Reibschale hängt ein Läufer I, an welchem das Glas befestigt ist. Dieser Läufer befindet sich an einer Stange H, welche in eine Dille G faßt, und hat eine Rotationsbewegung für sich allein und eine Seitenbewegung auf zwei Zapfen i, i; die erste Bewegung erhält er durch eine Rolle T, die auf der Stange H sitzt und von einer Schnur R umwunden ist, die zweite Bewegung durch eine in's Kreuz gebogene Stange KL, die mit dem Ende L an dem Knie h befestigt ist. Der Läufer hängt an einer Alhidade D, die zwischen den Ständern B auf den Zapfen kk beweglich ist, und die man mittelst einer mit einem Schraubengange versehenen Stange E, welche in ihr Vorderende greift, beliebig hoch und niedrig stellen kann. Durch Umdrehen der Stange an ihrem geränderten Knopfe F bringt man das Glas näher an die Reibschale oder von ihr weg, und kann so den gewünschten Krümmungshalbmesser bestimmen.

Die Maschine wird durch eine Kurbel X in Bewegung gesetzt. Die Axe der Kurbel trägt eine Welle V, um welche sich die Schnur R windet. Die Schnur umwindet dann die Rolle Q, und geht hierauf um die Rolle l und um eine in der Mauer der Werkstatt befestigte Rolle S; dann windet sie sich um die Rolle T, geht über die Rolle U weg, und gelangt so zu der Welle zurück. Setzt man also die Kurbel in Bewegung, so theilt sich diese Bewegung zu gleicher Zeit der Reibschale und dem Träger mit.

Der Schlitten bewegt sich in seinen Falzen, wie schon vorhin bemerkt, durch die Stange d, welche mit ihrem einen Ende an dem Schlitten und mit dem andern in einem Krummzapfen c befestigt ist, auf welchem sich ein gezähntes Rad b befindet, welches durch eine Schraube ohne Ende a bewegt wird; diese Schraube ist mit der bewegenden Axe aus einem Stücke. Indem solchergestalt die Schraube ohne Ende und das gezähnte Rad umgedreht werden, wird der Schlitten hin- und hergeschoben um eine Weite, die dem Arme des Krummzapfens gleich ist.

Die Stange K, die den Läufer hin- und herschiebt, geht durch eine Nuß M, ist kreuzförmig gebogen und beweglich um einen Stift t.

Indem der Krummzapfen h durch die bewegende Axe umgedreht wird, hebt oder senkt sich der Arm L dieser Stange um eine Weite, die dem Arme des Krummzapfens gleich ist. Diese Bewegung geht an den Arm K und von diesem an den Läufer über; man regulirt diese Bewegung durch höheres oder niedrigeres Stellen der horizontalen Axe N, in welche der Arm L greift. Die Axe N bewegt sich in den Zwingen f, f, welche auf den Ständern CC laufen und von den Preßschrauben gg gehalten werden. Einer dieser Ständer ist mit einer eingetheilten Scale n versehen, um die von deren Läufer beschriebene Curve mit Genauigkeit verlängern oder verkürzen zu können.

Die verschiedenen Operationen dieser Maschine sind folgende:

1) Soll ein convexes Glas nach einer vorgeschriebenen Curve geschliffen werden, so leimt man auf einen hölzernen oder kupfernen Läufer I, dessen Rand vollkommen abgedreht ist, ein der Dicke und dem Durchmesser der zu verfertigenden Linse entsprechendes Glasstück, und sorgt dafür, daß es gut centrirt ist; der Läufer wird auf das Rotationscentrum I gebracht und mittelst einer Schraube befestigt.

Die gut geebnete Reibschale wird mit vier Zapfen auf einem Plateau fest gemacht und dann auf das Rotationscentrum des Schlittens gestellt, wo sie von einer Schraube gehalten wird.

Die Stange H wird so weit heruntergerückt, daß der Abstand ihres festen Mittelpunktes von der Ebene der Reibschale dem Halbmesser der gewünschten Krümmung gleich ist; hierauf hebt oder senkt man den Arm L um eine dem Durchmesser des Glases proportionirte Weite. Dreht man dann die Kurbel X, so drehen sich Reibschale und Glas in entgegengesetzter Richtung, der Schlitten bewegt sich horizontal hin und her, und der Läufer geht hin und her und beschreibt die verlangte Curve. So wie sich das Glas abschleift, läßt man es auf die Reibschale herunter, indem man die Alhidade D mittelst der Stange E niederschraubt.

Während das Glas sich schleift, berichtigt der Arbeiter mittelst einer eingetheilten Stange die Entfernung des festen Mittelpunktes von der Ebene der Reibschale.

2) Will man ein concaves Glas schleifen, so bringt man an den Läufer statt des Glases eine bauchigte Reibschale, und das Glas an die Stelle der Reibschale auf den Schlitten, befestigt beide auf ihren respectiven Rotationsmittelpunkten, und hemmt die hin- und

hergehende Bewegung des Schlittens mittelst zweier Haken, nachdem man die Verbindungsstange d zwischen ihm und dem Krummzapfen fortgenommen hat. Da nun der Schlitten feststeht, so hat das Glas nur noch eine Rotationsbewegung, während die Reibschale ihre zwei Bewegungen beibehält. Da letztere immer einen Kreisbogen beschreibt, so bekommt die innere Krümmung des Glases den Abstand des festen Mittelpunktes vom Mittelpunkte des Glases zum Radius.

Der Verfasser hat diese Einrichtung dahin abgeändert, daß er die Axe p des Plateaus q außer das Loth bringt, und es auf einer Centrirschraube r (Fig. 184 und 185) rotiren läßt; zugleich umgibt er das Plateau mit Kreisringen von einer der Dicke der Reibschale gleichen Breite, die in einem Doppelringe zwischen den Ständern des Schlittens aufgehängt sind. Dadurch balanciren sich fortwährend sämmtliche Theile des Glases und der Reibschale und schleifen sich gleichmäßig ab, ohne daß die Reibung an der einen Stelle stärker als an der andern ist.

3) Will man ein Planglas haben, so verfährt man gerade umgekehrt, d. h. man hemmt die oscillirende Bewegung der Reibschale durch einen Haken u, und zieht den Stift t der Stange k aus, worauf man die Stange in einen Ausschnitt der Docke v legt und mit einer Preßschraube x befestigt; dadurch erhält die Reibschale einen festern Stand und hat nun nur noch die Rotationsbewegung um ihre Axe. Endlich legt man die Communicationsstange d des Schlittens wieder ein, damit dieser seine hin- und hergehende Bewegung zurückerhalte. Bei dieser Einrichtung geht dann das Glas unter der Reibschale fort, und schleift sich auf allen Punkten gleichmäßig ab, bis es hinlänglich polirt ist.

Um sich davon zu vergewissern, daß die Maschine gut arbeitet, hat man eine Nadel als Index, deren abgeplattetes Ende sich auf dem Glase reibt, und dessen anderes Ende an einer eingetheilten Skale liegt, die an einem der Ständer C befestigt ist. Oscillirt diese Nadel, während sie sich auf solche Weise zwischen dem Glase und der Reibschale befindet, so gibt dies zu erkennen, daß in dem Falze des Schlittens irgend ein Fehler ist, den man dann ausbessern muß.

Vorzüglich hat man darauf zu achten, daß man den Rand der Schleifschale gut abdreht; ist dieser nicht vollkommen, so rectificirt der Arbeiter die Lage durch das bei den Plangläsern angezeigte Mittel.

Man stellt einen großen horizontalen doppelten Trog auf das Gestelle zum Auffangen des ausspritzenden Schmergels.

In den zum Schleifen angewandten Körpern hat der Verfasser keine Aenderung getroffen, sondern die gewöhnlichen beibehalten.

Erklärung der Figuren.

Fig. 180 Seitenaufriß der Schleifmaschine.

Fig. 181 Aufriß von hinten gesehen.

Fig. 182 Grundriß.

Fig. 183 Horizontaler Durchschnitt des Schlittens.

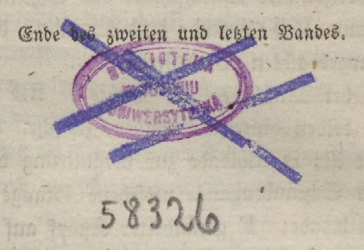
Fig. 184 und 185 Grund- und Standriß der zum Schleifen concaver Gläser angebrachten Verbesserung.

AA Gestelle der Maschine; **A'** Träger; **BB** die beiden vordern Ständer; **CC** die beiden hintern Ständer, zwischen denen der Mechanismus angebracht ist; **D** Alhidade zur Regulirung der Lage des Glases; **E** mit einem Schraubengange versehene Stange zum Höher- oder Tieferstellen der Alhidade; **F** geränderter Knopf auf der Stange zum Umdrehen derselben; **G** Dille mit festem Centrum; **H** eng in der Dille anschließender Schaft; **I** Rotationscentrum des Läufers; **J** hölzerner gut abgedrehter Läufer; **KL** kreuzförmig eingebogene Stange, mit welcher der Läufer seine oscillirende Bewegung erhält; **M** Nuß zur Aufnahme des Armes **K** der Stange; **N** Axe zur Regulirung des vertikalen Armes dieser Stange; **O** Schlitten; **PP** Falze, in denen sich der Schlitten bewegt; **Q** Rolle zur Bewegung der Schleifschale; **R** Schnur zum Umdrehen dieser Rolle und des Läufers; **S** Rolle zur Richtungsänderung der Schnur, fest in der Mauer der Werkstatt; **T** Rolle des Läufers; **U** eine andere Rolle zwischen den Ständern **CC**; **V** Spindel; **X** Kurbel; **Y** Zapfen für die Schleifschale; **Z** Reibschale für Convexgläser, die für Plan- und Concavgläser mit einem Plateau vertauscht wird.

a Schraube ohne Ende, aus einem Stücke mit der bewegenden Axe; **b** gezähntes Rad, durch die Schraube ohne Ende in Bewegung gesetzt; **c** Krummzapfen der Axe dieses Rades; **d** die Stange zum Hin- und Herschieben des Schlittens; **e** Schraube zum Feststellen des Schaftes **H** in der Dille **G**; **ff** Zwingen, in denen die Axe **N** an den Ständern **CC** verschoben werden kann; **gg** Schrauben zum Feststellen dieser Zwingen; **h** Krummzapfen der bewegenden Axe; **ii** Schrauben, auf denen der Läufer seine oscillirende Bewegung erhält;

kk Zapfen der Alhidade D; l Rolle, über welche die Schnur R geht; m Querbalken des Gestelles, welcher die Zapfen der Axen E und c aufnimmt; n eingetheilte Skale an einem der Ständer C; o (Fig. 184 und 185) Concavglas auf dem Plateau; p schräge Axe des Plateaus q; r Centrirschraube dieser Axe; ss Kreisringe in einem Doppelringe aufgehängt; t Verbindungsstift der Stangen K und L; u Haken zum Feststellen des Läufers in seiner Oscillation; v Docke mit Einschnitt zur Aufnahme der Stange K; x Preßschraube dieser Docke.

Ende des zweiten und letzten Bandes.



Bücher-Anzeigen.

Bei G. Basse in Quedlinburg sind neu erschienen und in allen Buchhandlungen zu haben:

Der Feuerspritzen-Fabrikant.

Oder Anweisung, nicht nur die gewöhnlichen deutschen Feuerspritzen zweckmäßig und wohlfeil zu erbauen, sondern auch die englischen, sowie die in neuester Zeit in Anwendung gebrachten und höchst zweckmäßig befundenen Dampf-Feuerspritzen zu construiren. Herausgegeben von J. A. Föllner. Mit Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

Unterricht im Schwimmen,

nach der neuen Methode des Neapolitaners Bernardi. Zum Selbstunterricht, sowie für alle Freunde der Schwimmkunst. Mit 12 Tafeln instructiver Abbildungen in Steindruck. Nach dem Französischen bearbeitet. 8. Preis 12 gGr.

J. F. Rust: Das

Schachspiel des Philidor;

oder Sammlung interessanter Spiele desselben mit Anmerkungen von ihm selber und dem Herausgeber. Ein Handbuch und Rathgeber für Schachspieler. 8. Preis 20 gGr.

Comte's kleines Handbuch der

Taschenspielerkunst;

oder die Geheimnisse der natürlichen Magie, faßlich und anschaulich dargestellt. Für Dilettanten dieser Kunst, sowie zur Belustigung von Gesellschaftskreisen. Nach dem Französischen bearbeitet. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 3 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 1 Thlr. 12 gGr.

Ringelhardt's Kunst, alle Arten

Abgüsse und Abdrücke

von Münzen, Medaillen, Cameen, Glasplasten, Käfern, Insekten rc. in Stanniol, Gyps, Schwefel, Wachs, Siegellack, Hausenblase, Leim, Alaun, Salpeter, Metall, Glas, Thon, Holzmassen rc. auf's sauberste und vollkommenste zu verfertigen, nebst Anweisung zum Abklatschen und Beschreibung der neuesten französischen Clichirmaschinen. Mit Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

Cl. Perrot: Praktisches Handbuch der

Farbenbereitung.

Oder gründliche Anweisung, alle in der Oel-, Wasser-, Tusch-, Pastell-, Emaille-, Seiden- und Wachsmalerei gebräuchliche Farben zu

bereiten und anzuwenden, nebst den in dieser Hinsicht gemachten neuesten Verbesserungen und Entdeckungen. Für Farbenbereiter und Maler. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. 8. Preis 1 Thlr. 4 gGr.

Th. Gill's Handbuch für

Eisen- und Stahlarbeiter.

Enthaltend Belehrungen, Eisen und Stahl nach den besten englischen Methoden zu härten und weich zu machen, zu durchbohren und zu löthen; Eisen in Stahl zu verwandeln; Bereitung des Gußstahls, Blasenstahls und dgl. m. Aus dem Englischen übersetzt und mit Zusätzen vermehrt. Zweite Auflage. Mit Abbildungen. 8. Preis 20 gGr.

Wölfer's Modell- und Musterbuch

für Metallarbeiter,

insbesondere für Eisen- und Stahlarbeiter, sowie für Mechaniker und Maschinisten. Enthaltend Abbildungen aller Arten deutscher, französischer und englischer Schlösser nebst Schließkappen, Schlüsseln, Schlüsselrauten, Schloßschildern, Vorgesperren, und Drückern, Geldkasten-, sehr complicirten Kassen- und Schatullen-Schlösser, Thür- und Fensterbeschläge, Stützen, Wetterfahnen, Laternenträger, Gitterwerk, Geländer, Thore, Schrauben, Walzwerk, Cylinder, Räder, Gewehrschlösser, Cirkel, alle Arten Scheeren (Tuch-, Schaf- ꝛc. Scheeren), Zangen, Schraubstöcke, Federn, Pendeln, Uhren, Drehbänke und andere Maschinen. Nach dem neuesten englischen und französischen Geschmack. Von Marius Wölfer. Zweite, verbesserte und sehr vermehrte Auflage. qu. Quart. Preis 1 Thlr. 16 gGr.

Meyer's Beschreibung und Abbildung der neuesten Verbesserungen an den

Saug- und Druckpumpen

für Brunnen, Feuerspritzen und andere Wasserhebmaschinen, sowie auch für Maschinen, die bestimmt sind, dicke Flüssigkeiten in die Höhe zu heben. Für Brunnenmacher, Feuerspritzen-Fabrikanten, Gürtler, Messingarbeiter ꝛc. Mit 64 Abbildungen. 8. Preis 16 gGr.

Meyer's Beschreibung und Abbildung der neuesten Erfindungen und Verbesserungen in Betreff der

Wasserleitungsröhren,

insbesondere der thönernen, nebst gründlicher Anweisung, sie anzufertigen, anzulegen und im besten Stande zu erhalten. Für Baumeister, Magisträte, Röhrenmacher, sowie für jeden Grundbesitzer, der Wasserleitungen zu erhalten hat, oder neue anzulegen beabsichtigt. Mit 19 Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

A. Lohnau: Der vollkommene

Papparbeiter.

Oder praktische Anweisung, alle Arten geschmackvoller Papparbeiten auf das Sauberste zu verfertigen. Ein Hülfsbuch für alle Diejenigen, welche die Kunst, aus Pappe und Papier zu formen, erlernen oder sich darin vervollkommnen wollen. Mit 11 Tafeln Abbildungen, 160 Figuren enthaltend, welche nicht nur sämmtliche zur Papparbeit erforderliche Werkzeuge, sondern auch die Auswahl geschmackvoller, nach ihren einzelnen Theilen detaillirter Gegenstände darstellen, die zum Formen aus Pappe vorzüglich geeignet sind. Zweite, verbesserte Auflage. 8. Preis 1 Thlr. 12 gGr.

Die Kunst, in

Papiermaché,

sowie in Papier, Stein- und Lederpappe, Sägespänen 2c. zu modelliren. Für Fabrikanten und Dilettanten. Aus dem Französischen übersetzt. Von Lebrün. 8. Preis 10 gGr.

Handbuch der

Modellir- und Bildformerkunst.

Oder Anweisung, sowohl Statuen, als nach der Natur in Gyps, Thon, hydraulischem Kalk, Cementen, Wachs und Blei, sowie Münzen, Cameen, und andere Gegenstände in Mastix, Schwefel, Talk, thierischen Gallerten, Leim und Brodkrumen zu modelliren. Nebst einer Anleitung, Holz, Horn und Schildpatt zu pressen und erhabene Arbeit darauf hervorzubringen. Aus dem Französischen übersetzt. Von Lebrün. Mit 1 Tafel Abbildungen. 8. Preis 1 Thlr.

Von der vortheilhaftesten

Verkohlung des Holzes

in Meilern, mit besonderer Rücksicht auf das in der Grafschaft Stolberg-Wernigerode übliche Verfahren. Nebst einer Abhandlung über den Nutzen der Wasserdämpfe beim Hohofenproceß, als Widerlegung einer andern, worin den Wasserdämpfen bei jenem Proceß ein Nachtheil zugeschrieben wird. Von F. Freytag. Mit 10 Abbildungen. gr. 8. Preis 1 Thlr. 16 gGr.

Die Dampfheizung

und ihre Vortheile für die Industrie, Haus- und Landwirthschaft. Oder Anweisung, die Wasserdämpfe zum Heizen, Kochen, Destilliren, Bleichen, Färben, Gerben, Bierbrauen, Zeugdrucken 2c. zu benutzen. Nebst Beschreibung und Abbildung aller dazu erforderlichen Apparate. Für Besitzer von Fabriken aller Art und alle diejenigen Geschäfttreibenden, welche viel heißes Wasser consumiren, sowie für größere Haus-

und Landwirthschaften. Von J. A. Föllner. Mit 3 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 18 gGr.

Wilh. Pool: Der praktische

Feuer- und Ofenbaumeister.

Oder gründliche Anweisung, alle Arten von Feuerungsanlagen und Oefen nach den neuesten Erfindungen und Verbesserungen zu erbauen. Ein nützliches Handbuch für Bau- und Maurermeister, Bauherren, Fabrik- und Hausbesitzer, sowie für Eisengießereien. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 377 Abbildungen. 8. Preis 1 Thlr. 20 gGr.

Handbuch für Kammmacher.

Oder Anweisung, alle Arten geschmackvoller Kämme nach den neuesten Verbesserungen zu verfertigen, das Horn zu bearbeiten und schön und dauerhaft zu färben, u. dgl. m. Nebst Abbildungen moderner Dessins zu Damenkämmen. Herausgegeben von Heinrich Pätz. Mit 8 Tafeln Abbildungen. 8. Preis 20 gGr.

Ad. H. Ehrhard: Anweisung zur Verfertigung und Anwendung bleifreier

Glasuren

für alle Arten irdener und eiserner Geschirre. 8. geh. Preis 8 gGr.

Belehrungen über die Anlegung und Construction der verschiedenen Arten von

Eisenbahnen.

Nach den neuesten Grundsätzen dargestellt. Eine Schrift für Alle, die ein Interesse daran finden und sich über diesen Gegenstand näher belehren wollen. Herausgegeben von Dr. Aug. Kühne. Mit mehren Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

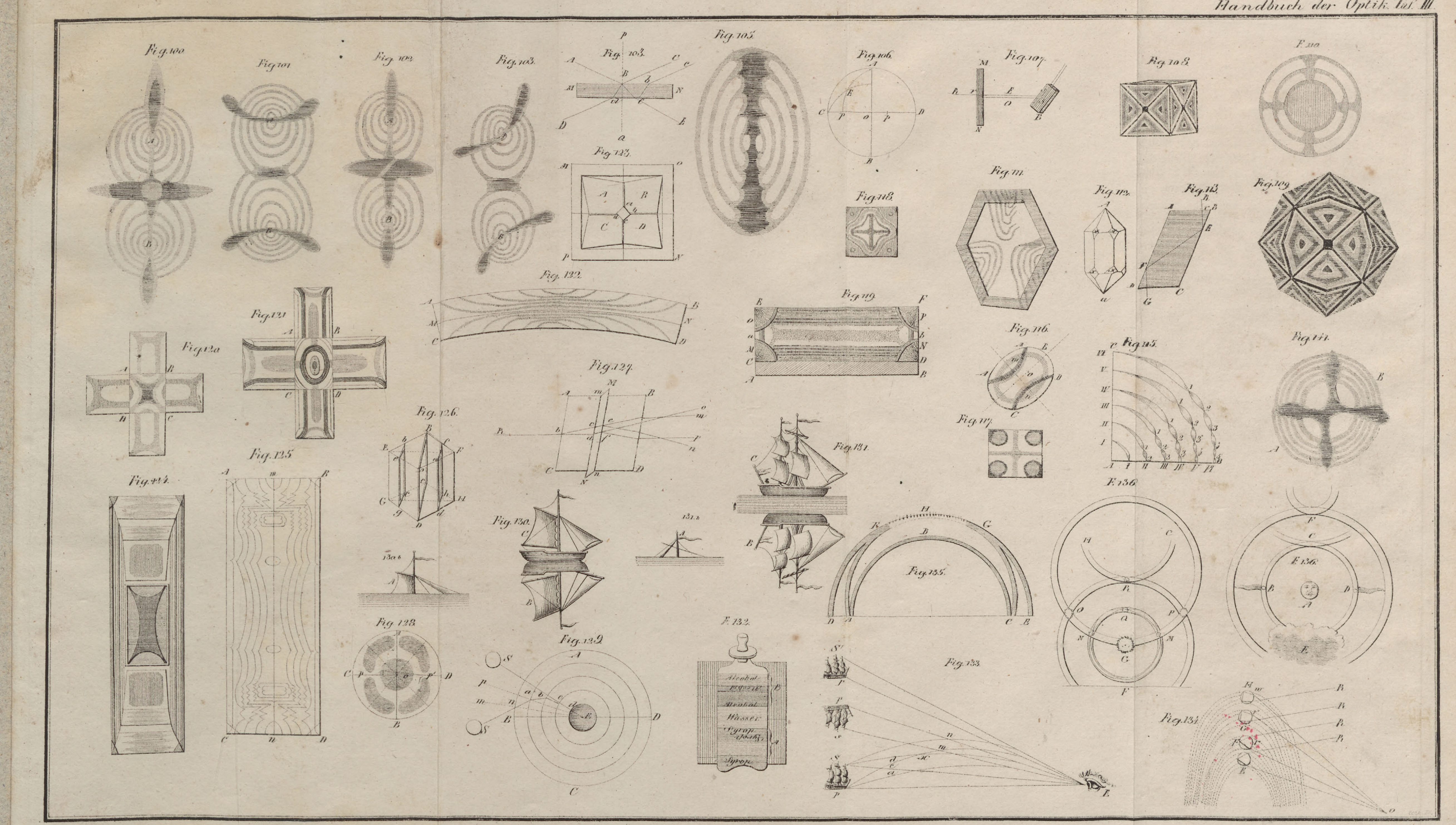
Die Fabrikation der Schwefelsäure,

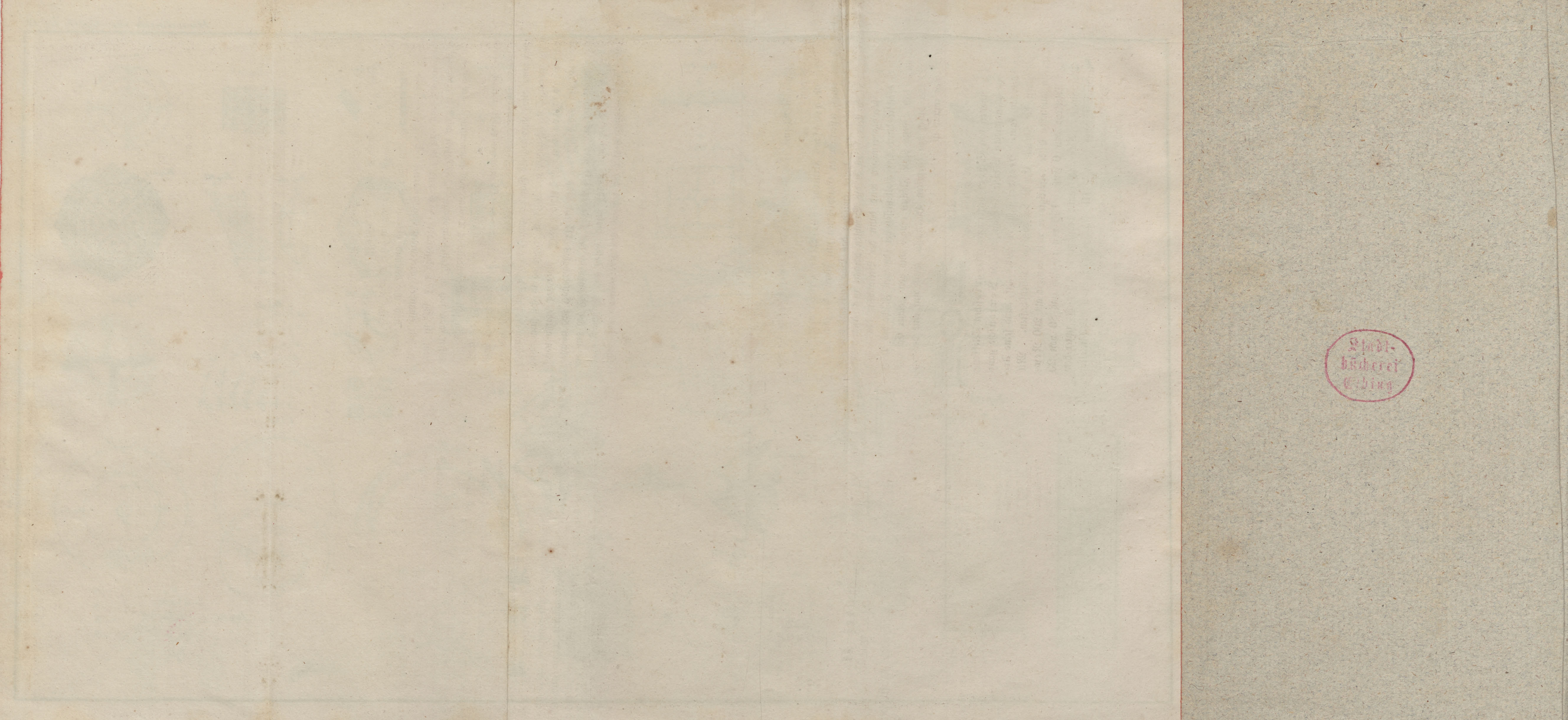
nach den neuesten französischen und englischen Methoden und Verbesserungen. Nach Payen und Cartier bearbeitet. Mit Abbildungen. 8. Preis 12 gGr.

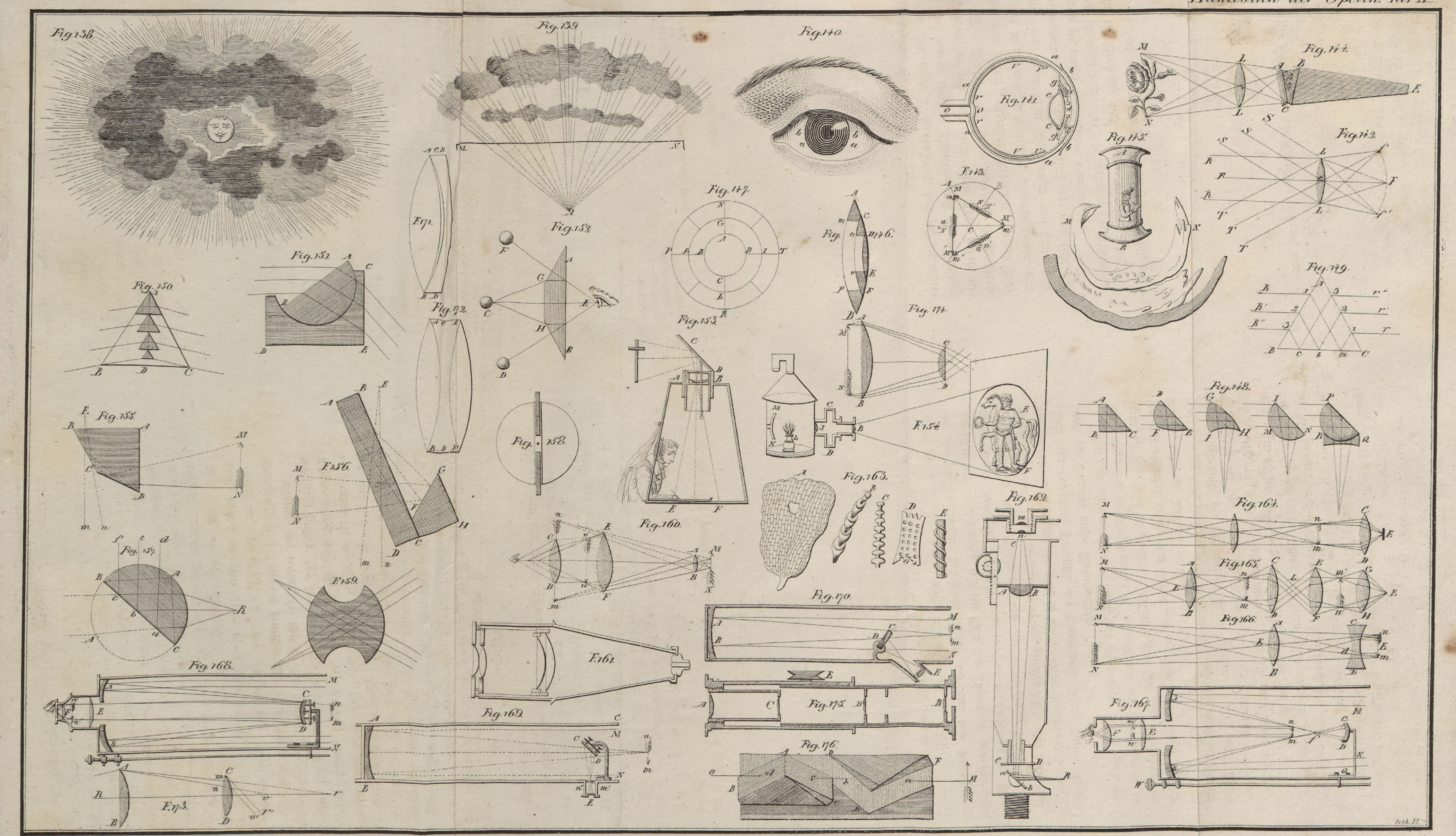
Ueber die Erzeugung des

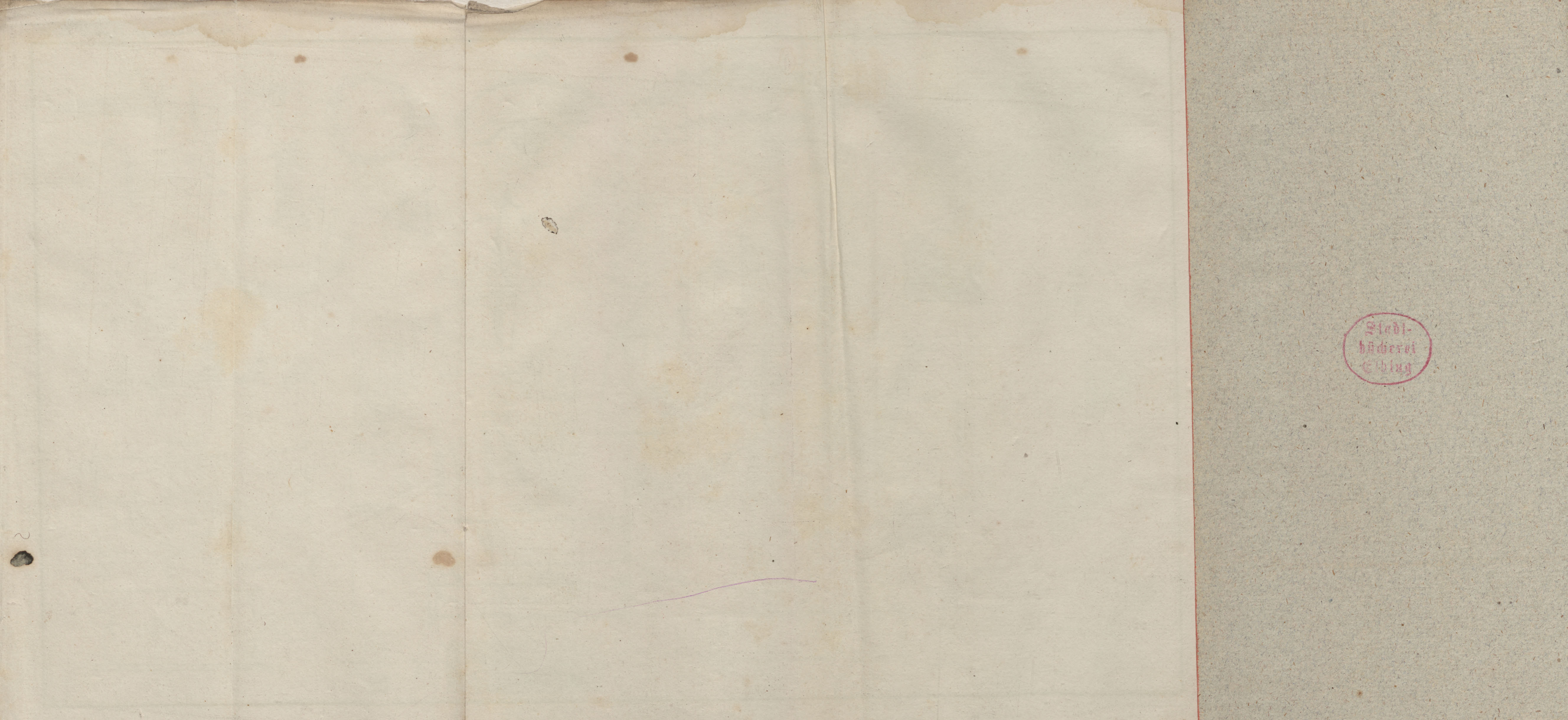
Roh- und Stabeisens

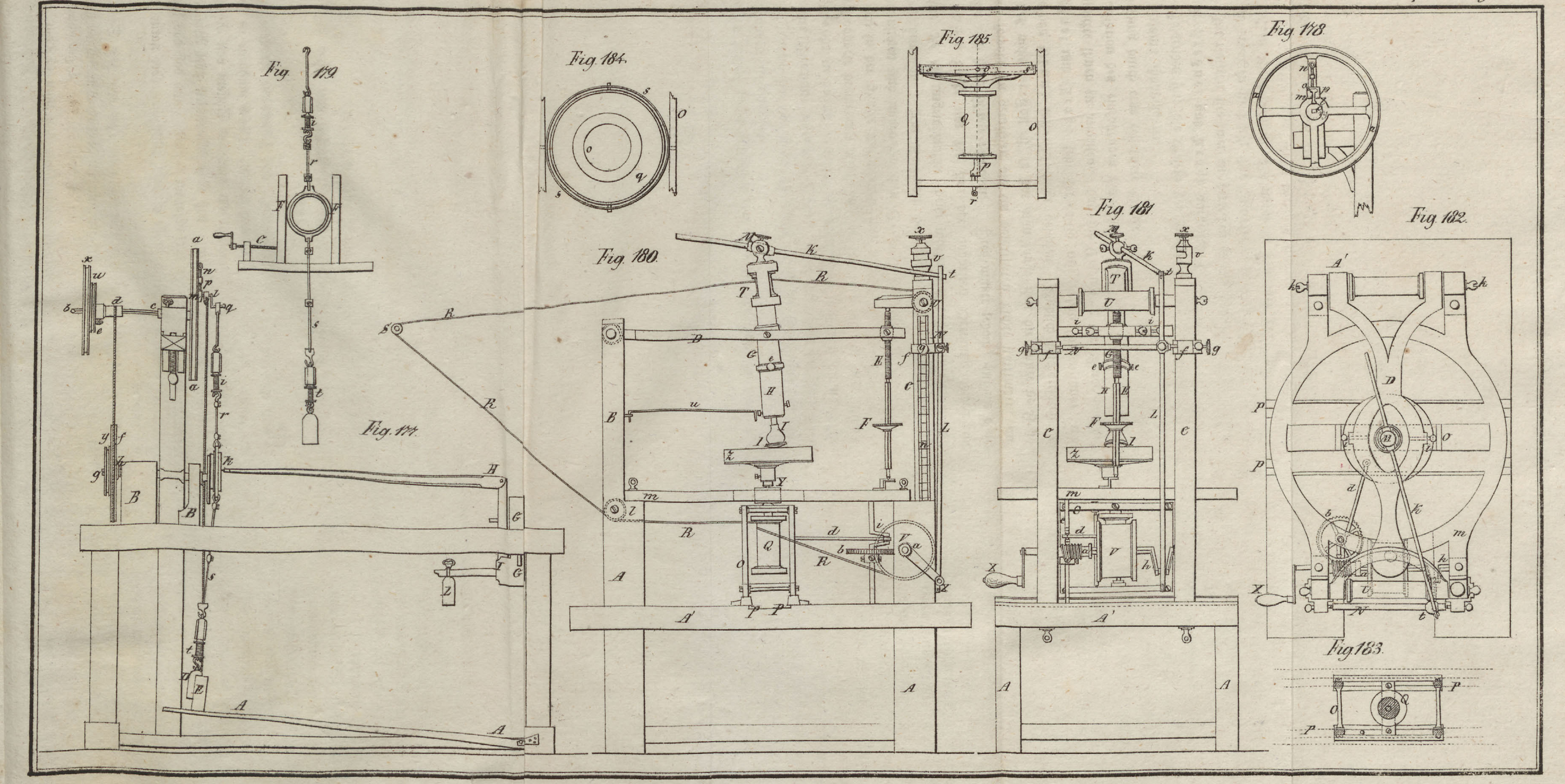
in England, besonders aber in Südwales. Aus dem Englischen von Dr. C. Hartmann. Mit einer lithographirten Tafel. gr. 8. Preis 18 gGr.


Fig. 100
Fig. 101
Fig. 102
Fig. 103
Fig. 104
Fig. 105
Fig. 106
Fig. 107
Fig. 108
Fig. 109
Fig. 111
Fig. 112
Fig. 113
Fig. 115
Fig. 116
Fig. 117
Fig. 118
Fig. 119
Fig. 121
Fig. 122
Fig. 123
Fig. 124
Fig. 125
Fig. 126
Fig. 128
Fig. 129
Fig. 130
Fig. 131
F. 132
Fig. 133
Fig. 134
Fig. 135
F. 136
Alcohol
Wasser
Syrup




Fig. 138.
Fig. 139.
Fig. 140.
Fig. 141.
Fig. 142.
Fig. 143.
Fig. 144.
Fig. 145.
Fig. 146.
Fig. 147.
Fig. 148.
Fig. 149.
Fig. 150.
Fig. 151.
Fig. 152.
Fig. 153.
Fig. 154.
Fig. 155.
Fig. 156.
Fig. 157.
Fig. 158.
Fig. 159.
Fig. 160.
Fig. 161.
Fig. 162.
Fig. 163.
Fig. 164.
Fig. 165.
Fig. 166.
Fig. 167.
Fig. 168.
Fig. 169.
Fig. 170.
Fig. 171.
Fig. 172.
Fig. 173.
Fig. 174.
Fig. 175.
Fig. 176.


Stadt-
bücherei
Elbing


Fig. 179.
Fig. 184.
Fig. 185.
Fig. 178.
Fig. 181.
Fig. 182.
Fig. 180.
Fig. 177.
Fig. 183.

